ESTRATÉGIA DOS GRUPOS DA QUALIDADE NA INDÚSTRIA DO ALOJAMENTO TURÍSTICO NA COSTA DE LISBOA

Maria Manuela Sarmento Coelho
Instituto Superior Técnico – Secção Autónoma de Economia e Gestão
Original submetido em: 13 de Maio de 1996

RESUMO

O presente trabalho tem por objectivo, poder contribuir para uma melhor compreensão das estratégias da qualidade na indústria do alojamento turístico, permitindo que as unidades de alojamento turístico possam implementar as vantagens competitivas necessárias ao desenvolvimento e conducentes ao êxito.

A metodologia utilizada foi a aplicação do modelo de análise estrutural intra-indústrias de Michael Porter. Consistiu basicamente na identificação de grupos estratégicos da qualidade no âmbito da Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa.

Para o desenvolvimento do trabalho realizou-se um inquérito e, em determinados casos entrevistas. A análise quantitativa dos dados dos 63 inquéritos (unidades) validados, num total de 16 965 dados, baseou-se em técnicas de estatística multivariada, processados pelo programa SPSS 6.0.

Obtivemos seis grupos estratégicos da qualidade na Costa de Lisboa, que foram confirmados pela análise discriminante, que vão desde a qualidade de tipo excelente ao tipo baixo.

Toda a análise de investigação que desenvolvemos permitiu-nos avaliar criticamente a gestão da qualidade das unidades, de forma a enfrentar reactiva ou proactivamente, as profundas modificações ocorridas nos últimos anos a nível da economia nacional e internacional.

1. MODELO DE INVESTIGAÇÃO

Para a realização do modelo de investigação sobre a qualidade na indústria do alojamento turístico na Costa de Lisboa foi necessário realizar um estudo exploratório, que se concretizou através do inquérito sobre a qualidade da gestão (aliás o primeiro realizado em Portugal, sobre esta matéria), para o qual foram selecionadas as variáveis estratégicas.

A análise e tratamento dos dados, provenientes do trabalho de campo, permitiram conhecer as estratégias da qualidade implementadas pelas unidades (empresas) de alojamento turístico da Costa de Lisboa, assim como as vantagens competitivas existentes, para além de possibilitar a formação de grupos estratégicos da qualidade.

Para a sua determinação aplicou-se o modelo de análise estrutural de grupos estratégicos intra-indústrias preconizados por Michael Porter, que assenta no facto de as empresas operacionalizarem a sua estratégia, actuando segundo parâmetros, ou **dimensões estratégicas.** A agregação de empresas que numa indústria, actuam segundo as mesmas dimensões estratégicas, constituem os **grupos estratégicos.**

Para a interpretação e formação de grupos estratégicos recorreu-se a técnicas de estatística multivariada, e a sua análise é feita à luz da realidade do sector.

2. INQUÉRITO

A ferramenta de trabalho utilizada para determinar os grupos que implementam as mesmas estratégias da qualidade foi um inquérito, o qual pretende atingir fundamentalmente os seguintes objectivos:

- caracterizar a gestão implementada nas unidades de alojamento turístico;
- identificar quais são os parâmetros fundamentais que determinam a situação competitiva das empresas da Indústria de Alojamento Turístico e a sua inserção e relacionamento no meio envolvente;
- determinar grupos de unidades que executem estratégias da qualidade semelhantes;
- analisar criticamente as estratégias desenvolvidas pelas unidades, de modo a obterem vantagens competitivas necessárias ao êxito no mercado único europeu e no mercado internacional.

O inquérito é constituído por 56 questões base, sendo algumas múltiplas e que estão organizadas da seguinte maneira:

Grupo I: Questões sobre o inquirido
Grupo II: Informação sobre a Unidade de Alojamento Turístico, sendo o nome da Unidade facultativo
- A. Caracterização da Unidade
- B. Desempenho da Unidade

Grupo III: Qualidade
- C. Fundamentos da Qualidade
- D. Concorrência e Qualidade
- E. Estratégia e Planeamento da Qualidade
- F. Recursos Humanos e Qualidade
- G. Garantia da Qualidade
- H. Satisfação do Cliente
- I. Resultados da Qualidade
- J. Conclusões Gerais sobre a Qualidade

Antes de se enviar o inquérito pelos CTT a todas as unidades de alojamento turístico da Costa de Lisboa, foi discutido com especialistas do sector e pré-testado num hotel de 4 e outro de 3 estrelas, numa pensão de 3 estrelas e numa unidade de turismo de habitação.

3. UNIVERSO DE INVESTIGAÇÃO E TRATAMENTO DA AMOSTRA

O universo de investigação consistiu nas unidades de alojamento turístico portuguesas e a população alvo foram as 357 unidades de alojamento turístico da Costa de Lisboa.

A oferta de alojamento turístico é composta de 26 subsegmentos (subtipos ou categoria), que correspondem a 12 segmentos (tipos), conforme o quadro n.º 1:

Tipo de alojamento	Categoria	Tipo de alojamento	Categoria
Hotel:	5 estrelas	**Apartamento-Hotel:**	4 estrelas
	4 estrelas		3 estrelas
	3 estrelas		2 estrelas
	2 estrelas		
	1 estrela	**Pensão:**	4 estrelas
			3 estrelas
Motel:	3 estrelas		2 estrelas
	2 estrelas		1 estrela
Estalagem:	5 estrelas	**Albergaria:**	4 estrelas
	4 estrelas		
Aldeamento Turístico:	luxo	**Apartamento Turístico:**	1.ª categoria
	1.ª classe		2.ª categoria
	2.ª classe		
Turismo de Habitação		**Pousada**	
Agroturismo		**Turismo Rural**	

Quadro n.º 1 - DOZE TIPOS DE OFERTA DE ALOJAMENTO TURÍSTICO.
Fonte: *Alojamento Turístico de 1993 - Guia Oficial da D.G.T.*

O calculo da dimensão da amostra para a Costa de Lisboa, baseou-se na expressão:

$$n = \frac{px(1-p)}{\frac{D^2}{(Z_{\alpha/2})^2} + \frac{px(1-p)}{N}} \qquad (1)$$

sendo:

N: dimensão da população.
n: dimensão da amostra.
$Z_{a/2}$: valor da distribuição normal para um nível de confiança $\lambda = 1-\alpha$
λ: nível de confiança.
α: nível de significância
p: a proporção da população que apresenta essa característica.
D: nível de precisão. Significa que, se na amostra, a proporção p dos indivíduos apresentam determinado atributo, então na população N, com um nível de precisão de D%, a proporção de indivíduos com esse atributo encontra-se no intervalo [(p-D%); (p+D%)], para um nível de confiança λ.

A dimensão da amostra foi calculada tendo por base **p=0,5**, ou seja, quando a dispersão é máxima, **D**=5% e λ=95%. Para este nível de confiança, a distribuição normal tem o valor $\mathbf{Z}_{a/2}$=1,96.

Atendendo a que o universo tem 2140 unidades de alojamento turístico, ou seja **N=2140**, obteve-se da expressão (1) a dimensão da amostra de **n=326** unidades de alojamento turístico em Portugal.

Nas situações em que se pretende retirar amostras de populações finitas e sobretudo quando são de reduzida dimensão, é necessário aplicar um factor de correcção F.

$$F = \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \qquad (2)$$

Por substituição dos valores na expressão (2), obteve-se o factor de correcção válido para todas as regiões turísticas do país. Assim, a dimensão da amostra para a Costa de Lisboa é de **n=54** unidades de alojamento turístico. Pretendeu-se que a amostra recolhida fosse representativa da população alvo em estudo, pelo que a determinação da amostra por estrato foi obtida proporcionalmente, tendo em consideração o peso das unidades de alojamento turístico nos referidos estratos de oferta.

A amostra recolhida foram 71 questionários, tendo-se seguido os seguintes passos, por forma a consubstanciarem-se os nossos objectivos:

1. decisão de quais os inquéritos utilizar;
2. correcção dos dados;
3. codificação das questões;
4. introdução dos dados na base de dados;
5. detecção dos erros na base de dados e sua correcção;
6. processamento dos dados com o software SPSS versão 6.0;
7. métodos de análise estatística dos dados.

Foram considerados válidos para análise 63 inquéritos. Na medida em que a amostra pretendida era de 54 inquéritos para o grau de confiança de λ=95%, obteve-se um desvio positivo de 9, o que corresponde a um grau de confiança de λ=96,76%.

Salientamos que todos os tipos de alojamento turístico cumpriram ou ultrapassaram a amostra desejada, excepto no caso da pensão de 1*, cujo desvio é de (-1) unidade.

No caso vertente, o objectivo central da investigação, é a análise de grupos estratégicos da qualidade, na indústria do alojamento turístico na Costa de Lisboa, em função dos vários factores intervenientes no processo da gestão, estando por esse facto particularmente indicada as técnicas estatística multivariada.

4. METODOLOGIA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA DO MODELO

A nossa análise incidiu sobre 16 965 dados provenientes das 56 perguntas do inquérito, a que correspondem 259 variáveis.

Para a análise quantitativa dos dados utilizou-se o programa **"Statistical Programme for Social Sciences" - SPSS versão 6.0,** recorrendo-se às seguintes técnicas de estatística multivariada:

1. **análise factorial das componentes principais** por forma a obter um conjunto menor de variáveis, sem perda significativa de informação e com análise mais facilitada.
2. **análise de clusters** para proceder à formação dos grupos estratégicos e de tal modo que as unidades pertencentes a um mesmo grupo sejam tão semelhantes quanto possível e sempre mais semelhantes entre si, do que relativamente às unidades dos restantes grupos.
3. **análise de variância** para determinar se existem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, relativamente aos factores estratégicos.
4. **análise discriminante** para validar a classificação das unidades, obtida na análise de clusters.

5. ANÁLISE FACTORIAL DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Este método estatístico factorial permite transformar um conjunto de variáveis iniciais correlacionadas entre si, num outro conjunto de variáveis não correlacionadas (ortogonais), as chamadas componentes principais, que resultam de combinações lineares do conjunto inicial, e que o representam. Para **determinar as componentes a reter realizaram-se os seguintes passos:**

1. **A validação da ACP** foi feita através da estatística de Kaiser - Meyer - Olkin (KMO) e do teste de Bartlett.
   No nosso trabalho, a KMO apresentou um valor de 0,83608, o que significa que dispomos de boa informação para a análise pretendida.
   O **teste de Bartlett** apresentou um valor elevado e um nível de significância associado baixo, pelo que se rejeita que a matriz de correlação seja uma matriz identidade, ou seja, os factores são combinações lineares das variáveis.
2. Obteve-se **a percentagem de variância explicada acumulada** para a combinação linear, ou seja:
   - 1 factor explica 45,8% e tem um valor próprio igual a 13,27;
   - 2 factores explicam 53,0% e o segundo tem um valor próprio igual a 2,11;
   - 3 factores explicam 60,0% e o terceiro tem um valor próprio igual a 2,02;
   - 4 factores explicam 65,5% e o quarto tem um valor próprio igual a 1,60;
   - 5 factores explicam 70,6% e o quinto tem um valor próprio igual a 1,47;
   - 6 factores explicam 74,3% e o sexto tem um valor próprio igual a 1,08;
   - 7 factores explicam 77,9% e o sétimo tem um valor próprio igual a 1,04;

   As variáveis estão significativamente representadas, no conjunto das sete componentes principais extraídas.

3. Seguidamente determinou-se o número de componentes principais necessárias, para representar adequadamente os dados iniciais através do **método de Kaiser.** Este método consiste em excluir as componentes cujos valores próprios sejam inferiores à média, isto é, menores do que 1. Também se efectuou o "**scrce teste**" e constatou-se que foram retidos 7 factores, pois a partir do 8.º factor, a representação gráfica, passa a ser um segmento de recta praticamente paralelo ao eixo das abcissas (gráfico n.º 1).

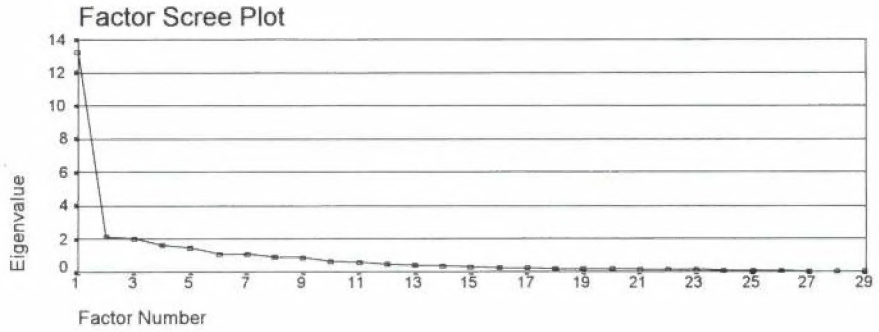


Gráfico n.º 1 - RESULTADOS DO SCREE TEST.
Fonte: *Inquérito sobre a Qualidade da Gestão na Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa.*

4. Para uma melhor interpretação procedeu-se à rotação dos eixos factoriais, tendo-se utilizado o **método ortogonal ou Varimax.**
5. Obtiveram-se 7 factores, cuja interpretação é função das variáveis estratégicas de que são compostos (quadro n.º 2).

Com o objectivo de formar grupos estratégicos de unidades, recorreu-se à análise de clusters, tendo como variáveis os sete factores obtidos na análise das componentes principais ACP.

6. ANÁLISE DE CLUSTERS

Os métodos de análise de clusters são procedimentos de estatística multivariada, que pretendem encontrar grupos de indivíduos relativamente homogéneos, de tal modo que os indivíduos pertencentes a um mesmo grupo, sejam tão semelhantes quanto possível e sempre mais semelhantes aos elementos do mesmo grupo, do que a elementos dos restantes grupos.

Na análise de clusters utilizamos o método hierárquico aglomerativo que está disponível no software - SPSS 6.0. Partiu-se de 63 grupos, tendo cada grupo apenas uma unidade de alojamento turístico.

Estes grupos foram sendo sucessivamente agrupados, até se obter um único grupo, que inclui a totalidade das unidades de alojamento turístico.

O ponto de partida comum a todos os métodos hierárquicos (divisivos e aglomerativos) é a construção de uma matriz de semelhanças ou de distâncias, que resulta da escolha da medida de distância a utilizar.

De entre as medidas possíveis, utilizou-se o **quadrado da distância Euclideana** (3) cuja definição é a seguinte: A distância entre dois casos (i e j) é o somatório dos quadrados das diferenças entre valores de i e j para todas as variáveis (v=1,2,...p).

$$d_{ij}^2 = \sum_{n=1}^{p} \left(X_{iv} - X_{jv} \right)^2 \qquad (3)$$

Factor Estratégico	Designação do Factor	Variáveis Estratégicas	Interpretação do Factor
FACTOR 1	Satisfação dos clientes e posição em relação à concorrência	• Posicionamento da unidade face à pesquisa de mercado, publicidade e promoção do serviço; • Posicionamento face a novos conceitos sobre a qualidade; • Avaliação da satisfação do cliente através de inquérito; • Gestão das insatisfações com acções correctivas. • Resposta às reclamações dos clientes "serviço correio-cliente"; • Gestão das reclamações actuando com acções correctivas.	As unidades dão enfase ao seu posicionamento face à concorrência, promovem e publicitam o serviço que prestam, para além de privilegiarem a satisfação do cliente. Neste sentido, actuam com acções correctivas face às insatisfações dos clientes, que são conhecidas através de inquéritos ou de reclamações.
FACTOR 2	Modernização da gestão e garantia da qualidade	• Comparação dos resultados da qualidade com os concorrentes; • Posicionamento da unidade face à satisfação dos clientes; • Alcance dos objectivos da qualidade propostos no plano; • Planeamento estratégico sobre o serviço de qualidade; • Incorporação da qualidade na estratégia global; • Satisfação do cliente é o alvo do programa da qualidade; • Controlo da qualidade dos produtos e serviços dos fornecedores; • Avaliação da qualidade dos produtos, processos e serviços.	As unidades dão enfase à comparação dos seus resultados de gestão com os concorrentes, para além de priviligiarem a qualidade que está incorporada na estratégia global e no planeamento. As unidades têm a preocupação de garantir a qualidade através da avaliação e controlo dos seus produtos e serviços, assim como dos seus fornecedores.
FACTOR 3	Pesquisa de mercado e comunicação da qualidade	• Influência da pesquisa de mercado no plano da qualidade e na estratégia; • Comunicação externa sobre a qualidade de serviço prestado; • Procedimentos escritos sobre qualidade.	As unidades elaboram a sua estratégia e o seu plano da qualidade, atendendo à pesquisa de mercado. A qualidade é alvo de comunicação interna e externa.
FACTOR 4	Gestão da qualidade baseada nos recursos humanos	• Participação dos trabalhadores no plano da qualidade; • Formação e treino geral e específico dos trabalhadores; • Acções de formação sobre qualidade.	As unidades privilegiam a gestão participativa dos trabalhadores no plano da qualidade, sendo a formação e o treino geral e específico, objectivos da gestão.
FACTOR 5	Qualidade como objectivo da gestão	• A Qualidade é importante para o sucesso da unidade; • A Qualidade é objectivo da gestão.	As unidades têm por objectivo uma gestão da qualidade, devido a considerarem o sucesso função da qualidade.
FACTOR 6	Dependência das centrais de reservas e operadores turísticos	• Gestão das sugestões positivas das centrais de reservas e respectivas acções; • Gestão das sugestões positivas dos operadores turísticos e respectivas acções.	As unidades privilegiam as sugestões das centrais de reservas e dos operadores turísticos, face às sugestões dos empregados, dos clientes ou de outras entidades.
FACTOR 7	Competitividade do binómio preço/serviço	• Posicionamento da unidade face ao preço; • Posicionamento da unidade face ao serviço prestado.	As unidades dão enfase ao preço e à qualidade do serviço, face aos praticados pelas suas concorrentes.

Quadro n.º 2 - OS SETE FACTORES ESTRATÉGICOS DA QUALIDADE E SUA INTERPRETAÇÃO.
Fonte: *Inquérito sobre a Qualidade da Gestão na Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa.*

Seguidamente procedeu-se à escolha do **critério de agregação** dos indivíduos. Há vários métodos, que diferem pelo modo como estimam distâncias, entre os grupos já formados e outros grupos ou indivíduos por agrupar.

Portanto, diferentes definições destas distâncias, podem resultar em diferentes soluções finais.

De entre os critérios de agregação mais utilizados, escolhemos o **critério de Ward,** embora tenhamos feito diferentes análises utilizando outros critérios de agregação e outras medidas de distância.

A justificação da escolha do critério de Ward é devido a termos obtido o resultado de 100% quando da validação dos grupos pela análise discriminante. Com os outros critérios o melhor resultado foi 96,83% com o critério Complete Linkage.

A representação gráfica dos resultados da análise sob a forma de **dendrograma, ou de uma árvore de agrupamento,** mostra todas as fases do processo de agrupamento, desde a separação total dos indivíduos, até à sua inclusão num grupo apenas.

Para se obter o número de grupos óptimo, o método mais utilizado compara graficamente o número de clusters com o **coeficiente de fusão,** isto é, o valor numérico (distância ou semelhança) para o qual vários casos se unem para formar um grupo.

O dendrograma que se apresenta no gráfico n.º 2, é o resultado da aplicação da análise de clusters às 63 unidades de alojamento turístico da Costa de Lisboa, caracterizadas pelos 7 factores estratégicos anteriormente descritos. Obtiveram-se 6 grupos.

7. ANÁLISE DE VARIÂNCIA SIMPLES

Utilizámos a **análise de variância simples paramétrica Oneway,** com o objectivo de testar se existem diferenças significativas entre os 6 grupos obtidos na análise de clusters, relativamente aos sete factores estratégicos. Testou-se **a igualdade de médias de cada um dos 7 factores estratégicos nos 6 grupos obtidos,** tendo por base a verificação dos seguintes pressupostos da análise de variância:

1. a população tem uma distribuição normal;
2. os grupos têm igual variância.

Para a **análise da homogeneidade de variância** entre os grupos, testou-se a hipótese nula contra a hipótese alternativa, isto é:

H_0: As variâncias dos grupos são iguais.
H_1: As variâncias dos grupos são diferentes.

e aplicou-se o **método de Levene,** considerando um grau de confiança $\lambda = 95\%$, ou seja, para um nível de significância de $\alpha = 5\%$.

Sempre que o nível de significância de Levene for superior ao nível de significância considerado, não há razões para rejeitar a hipótese nula, ou seja, há igualdade de variâncias entre os grupos.

Seguidamente, realizou-se a **análise de igualmente de médias** entre os grupos, considerando a hipótese nula (as médias do grau de importância de cada factor são iguais nos seis grupos) contra a hipótese alternativa as médias do grau de importância de cada factor são diferentes nos seis grupos), ou seja:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$$
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6$$

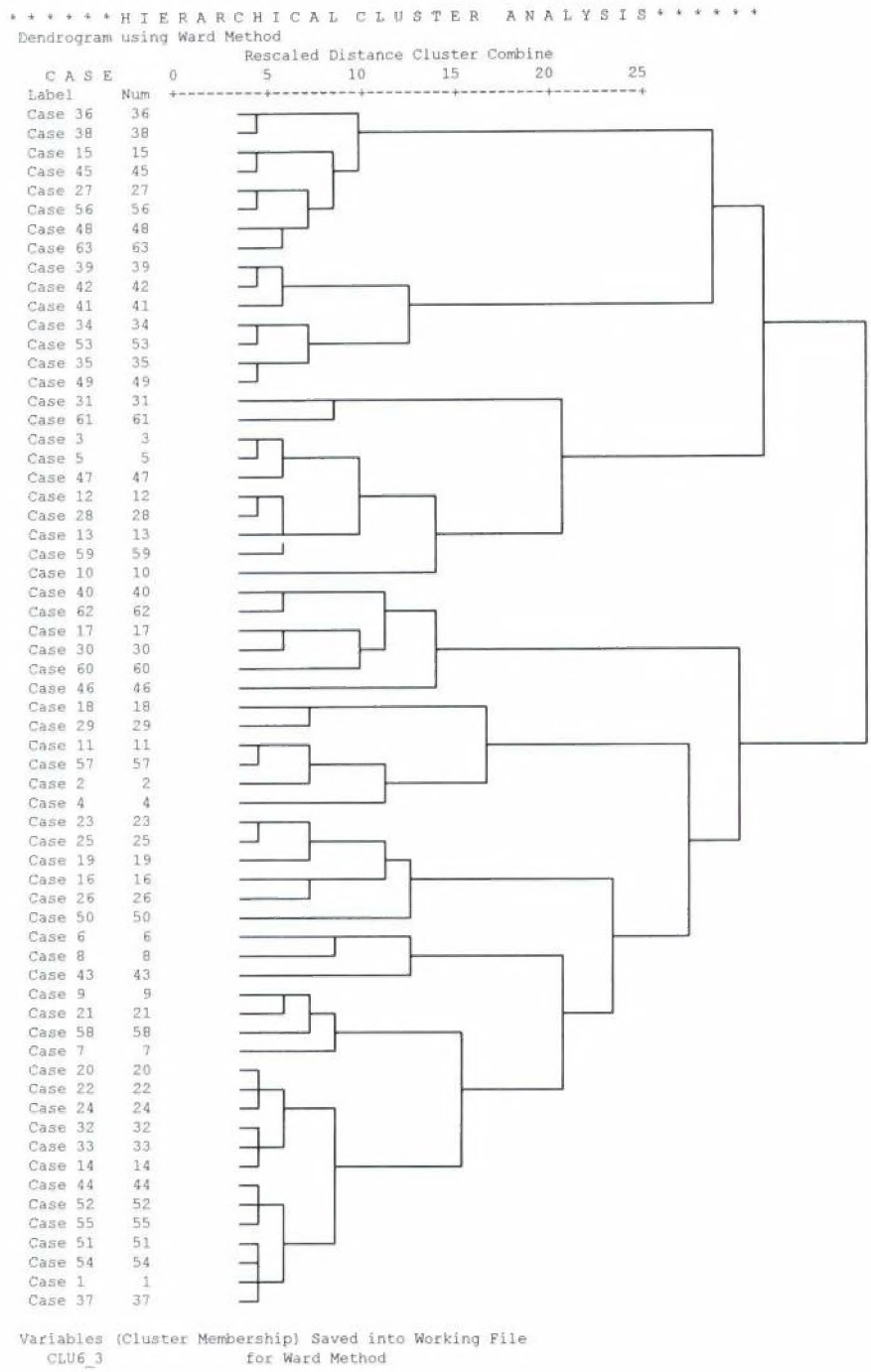


Gráfico n.º 2 – DENDROGRAMA.
Fonte: *Inquérito sobre a Qualidade da Gestão na Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa.*

Rejeita-se a hipótese nula, sempre que a **probabilidade do teste F** seja inferior ao nível de significância de 5%, o que implica que as médias dos grupos são diferentes.

Também se efectuou o teste de comparação múltipla de **médias de Scheffé** que é mais rigoroso que o **teste F**. O teste de Scheffé permite identificar os grupos cujas médias sejam estatisticamente diferentes. Os resultados da aplicação da análise de variância simples **Oneway** são apresentados no quadro n.º 3, tendo-se constatado que há seis grupos.

Variável	Levene	Teste F	Prob. F	Teste de Scheffé
FACTORES ESTRATÉGICOS DA QUALIDADE				
Factor 1: Satisfação dos clientes e posição em relação à concorrência	0,645	3,5436	0,0074	O grupo 4 difere significativamente dos grupos 2, 5 e 6
Factor 2: Modernização da gestão e garantia da qualidade	0,085	3,5724	0,0070	O grupo 3 difere significativamente dos grupos 2, 5 e 6
Factor 3: Pesquisa de mercado e comunicação da qualidade	0,937	13,4143	0,0000	O grupo 1 difere significativamente dos grupos 2 e 6 O grupo 4 difere significativamente dos grupos 2, 3 e 6 O grupo 5 difere significativamente dos grupos 2, 3 e 6
Factor 4: Gestão da qualidade baseada nos recursos humanos	0,181	6,3664	0,0001	O grupo 1 difere significativamente do grupo 5 O grupo 6 difere significativamente dos grupos 5
Factor 5: Qualidade como objectivo da gestão	0,808	11,8194	0,0000	O grupo 3 difere significativamente dos grupos 1 e 2 O grupo 4 difere significativamente dos grupos 1 e 2 O grupo 5 difere significativamente os grupos 1 e 2 O grupo 6 difere significativamente dos grupos 1 e 2
Factor 6: Dependência das centrais de reservas e operadores turísticos	0,012	4,9615	0,0008	O grupo 4 difere significativamente dos grupo 1 e 5
Factor 7: Competitividade do binómio preço/serviço	0,012	5,5635	0,0003	O grupo 3 difere significativamente dos grupos 6 e 4 O grupo 5 difere significativamente dos grupos 6 e 4

Quadro n.º 3 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA ONEWAY PARA OS FACTORES ESTRATÉGICOS DA QUALIDADE.
Fonte: *Inquérito sobre a Qualidade da Gestão na Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa.*

8. ANÁLISE DISCRIMINANTE

Procedeu-se à análise discriminante, após a determinação e constituição dos seis grupos, pois pretendeu-se verificar qual a percentagem de casos correctamente classificados nos grupos.

A **análise discriminante** é uma técnica de estatística multivariada, que tem por objectivo determinar as características mais relevantes e que melhor distinguem os grupos de indivíduos entre si, de tal modo que, sendo conhecidas as características de um novo indivíduo, se possa prever a que grupo pertence.

No caso vertente do nosso modelo, os casos (unidades de alojamento) foram classificados em seis grupos, pelo que serão estimadas cinco funções discriminantes, sendo cada caso identificado por cinco valores, um para cada uma das funções discriminantes.

Para o processamento da análise discriminante utilizou-se o software estatístico SPSS 6.0 (quadro n.º 4).

O método de entrada seleccionado para predizer as variáveis foi o **Stepwise** que, passo a passo, selecciona as variáveis que mais contribuem para a distinção entre grupos e, em seguida, vai incluindo e/ou retirando variáveis nas funções discriminantes, uma a uma, de acordo com um critério de selecção, tendo sido escolhido, entre outros, a estatística de **Wilk's lambda**.

O último passo é composto por todas as variáveis que foram seleccionadas, uma vez que aquelas que foram rejeitadas não contribuem para a distinção entre os grupos.

No nosso modelo todas os factores têm capacidade discriminatória, tal como anteriormente concluímos, com a análise de variância. Esta técnica permitiu-nos concluir que há **seis grupos significativamente diferentes e perfeitamente caracterizados através dos sete factores.**

```
- - - - - - - -  D I S C R I M I N A N T   A N A L Y S I S  - - - - - - - -

Ward Method
Classification results -

                          No. of    Predicted Group Membership
   Actual Group            Cases          1          2          3          4
--------------------      ------    --------   --------   --------   --------

Group       1                26         26          0          0          0
                                     100,0%        ,0%        ,0%        ,0%

Group       2                 6          0          6          0          0
                                        ,0%     100,0%        ,0%        ,0%

Group       3                10          0          0         10          0
                                        ,0%        ,0%     100,0%        ,0%

Group       4                 8          0          0          0          8
                                        ,0%        ,0%        ,0%     100,0%

Group       5                 6          0          0          0          0
                                        ,0%        ,0%        ,0%        ,0%

Group       6                 7          0          0          0          0
                                        ,0%        ,0%        ,0%        ,0%

                          No. of    Predicted Group Membership
   Actual Group            Cases          5          6
--------------------      ------    --------   --------

Group       1                26          0          0
                                        ,0%        ,0%

Group       2                 6          0          0
                                        ,0%        ,0%

Group       3                10          0          0
                                        ,0%        ,0%

Group       4                 8          0          0
                                        ,0%        ,0%

Group       5                 6          6          0
                                     100,0%        ,0%

Group       6                 7          0          7
                                        ,0%     100,0%

Percent of "grouped" cases correctly classified: 100,0%


Classification processing summary

        63 (Unweighted) cases were processed.
         0 cases were excluded for missing or out-of-range group codes.
        63 (Unweighted) cases were used for printed output.
        63 cases were written into the working file
```

Quadro n.º 4 – RESULTADOS DA ANÁLISE DISCRIMINANTE.
Fonte: *Inquérito sobre a Qualidade da Gestão na Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa.*

9. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

As unidades de alojamento turístico constituintes da amostra analisada permitem tirar conclusões com um grau de confiança de λ=96,76%.

As estratégias semelhantes adoptadas pelas unidades de alojamento, constituem seis grupos estratégicos, que se distinguem entre si pelas estratégias que mais valorizam e cujos valores médios dos factores estratégicos para esses grupos apresentam em alguns casos diferenças estatisticamente muito significativas (quadro n.º 5).

Variável		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Factores estratégicos da qualidade							
Factor 1: Satisfação dos clientes e posição em relação à concorrência		0,0599	-0,2603	0,2733	1,0393	-0,9981	-0,3509
Factor 2: Modernização da gestão e garantia da qualidade		0,1750	-0,3103	0,9460	0,1120	-0,8122	-1,0466
Factor 3: Pesquisa de mercado e comunicação da qualidade		0,5323	-0,5840	-0,1501	0,7791	0,5614	-0,8157
Factor 4: Gestão da qualidade baseada nos recursos humanos		0,2641	0,0639	0,1098	0,8813	0,0593	0,4524
Factor 5: Qualidade como objectivo da gestão		-0,0089	-0,7133	0,2999	0,2664	0,6598	0,7687
Factor 6: Dependência das centrais de reservas e operadores turísticos		-0,5316	0,2977	0,3924	1,2379	-0,0221	0,0315
Factor 7: Competitividade do binómio preço/serviço		-0,0909	-0,1437	0,5904	0,3508	1,1659	-1,0401
Percentagem de unidades de alojamento							
Total	**100**	**41,3**	**9,5**	**15,8**	**12,8**	**9,5**	**11,1**

Quadro n.º 5 - MÉDIAS DOS GRUPOS ESTRATÉGICOS POR FACTOR.
Fonte: Inquérito sobre a Qualidade *da Gestão na Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa.*

A análise dos dados mostra que os factores que melhor distinguem os grupos são por ordem decrescente os seguintes:

1. Para o factor 3 - **pesquisa de mercado e comunicação da qualidade** e o factor 5 - **qualidade como objectivo da gestão,** os grupos apresentam diferenças estatisticamente muito significativas.
2. Para o factor 2 - **modernização da gestão e garantia da qualidade,** para o factor 7 - **competitividade do binómio preço/serviço** e para o factor 6 - **dependência das centrais de reservas e dos operadores turísticos,** os grupos também apresentam diferenças estatisticamente significativas, embora não tão pronunciadas.
3. De igual modo, o factor 4 - **gestão da qualidade baseada nos recursos humanos,** e o factor 1 - **satisfação dos clientes e concorrência,** apresentam médias diferentes que permitem de igual modo discriminar os grupos.

Apresentam-se, seguidamente, as linhas de orientação estratégica de cada um dos grupos , assim como uma denominação dos referidos grupos estratégicos da qualidade.

Quanto à denominação dos grupos, várias designações são viáveis. Para uma melhor explicitação e comparação dos grupos entre si, optou-se por uma escala com os sete níveis:

1. qualidade de tipo excelente;
2. qualidade de tipo bom;
3. qualidade de tipo médio alto;
4. qualidade de tipo médio;
5. qualidade de tipo médio baixo;
6. qualidade de tipo medíocre;
7. qualidade de tipo mau;

No quadro n.º 6 apresentam-se as percentagens relativas ao total de unidades do grupo e ao total da amostra.

Alojamento		Unidades	Grupo 1 Qualidade de tipo médio alto		Grupo 2 Qualidade de tipo baixo		Grupo 3 Qualidade de tipo bom		Grupo 4 Qualidade de tipo excelente		Grupo 5 Qualidade de tipo médio		Grupo 6 Qualidade de tipo médio baixo	
Tipo	Sub-tipo	% total	% unid. grupo	% unid. total	% unid. grupo	% unid. total	% unid. grupo	% unid. total	% unid. grupo	% unid. total	% unid. grupo	% unid. total	% unid. grupo	% unid. total
Hotel:	5*	7,94	7,69	40,00			20,00	40,00	12,50	20,00				
	4*	6,35					10,00	25,00	37,50	75,00				
	3*	9,52	15,38	66,67			10,00	16,67			16,67	16,67		
	2*	11,11			33,33	28,57	20,00	28,57	12,50	14,29	33,33	28,57		
	1*													
	Total	**34,92**	**23,08**	**27,27**	**33,33**	**9,09**	**60,00**	**27,27**	**62,50**	**22,73**	**50,00**	**13,64**		
Hotel Apartamento	4*	1,59					10,00	100,00						
	3*	1,59									16,67	100,00		
	2*													
	Total	**3,18**					**10,00**	**50,00**			**16,67**	**50,00**		
Pensão	4*	4,76	3,85	33,33			10,00	33,33	12,50	33,33				
	3*	19,05	30,77	66,77	16,67	8,33							42,86	25,00
	2*	23,81	26,92	46,67	33,33	13,33					33,33	13,33	57,14	26,67
	1*													
	Total	**47,62**	**61,54**	**53,33**	**50,00**	**10,00**	**10,00**	**3,33**	**12,50**	**3,33**	**33,33**	**6,67**	**100,00**	**23,33**
Estalagem	5*													
	4*	3,17	3,85	50,00					12,50	50,00				
	Total	**3,17**	**3,85**	**50,00**					**12,50**	**50,00**				
Albergaria	4*	**1,59**							12,50	100,00				
Pousada		**1,59**					**10,00**	**100,06**						
Apartamento Turístico	1.ª cat													
	2.ª cat	1,59	3,85	100,00										
	Total	**1,59**	**3,85**	**100,00**										
Turist.Habi		**4,76**	**3,85**	**33,33**	**16,67**	**33,33**	**10,00**	**33,33**						
Turist. Rural		**1,59**	**3,85**	**100,00**										
TOTAL		100,0	100,0	41,27	100,0	9,52	100,0	15,87	100,00	12,70	100,00	9,52	100,00	11,11

Quadro n.º 6 – PERCENTAGEM DE UNIDADES NOS SEIS GRUPOS E NO TOTAL DA AMOSTRA.
Fonte: *Inquérito sobre a Qualidade da Gestão na Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa.*

10. CONCLUSÕES

O modelo de análise utilizado cumpriu o nosso objectivo que consistia em identificar os grupos estratégicos da qualidade, existentes no conjunto das unidades de alojamento turístico na Costa de Lisboa, com afinidades estratégicas.

Os seis grupos foram confirmados pela análise discriminante e diferenciam-se, nomeadamente, quanto:

- ao processo como efectuam as suas estratégias de gestão;
- ao modo com se posicionam face à concorrência, no âmbito alargado da gestão global;
- à satisfação dos clientes;
- à pesquisa de mercado;
- ao modo como efectuam a publicidade e a promoção dos seus produtos e serviços;
- à forma como gerem a imagem de marca da unidade;
- aos meios que utilizam para controlar e garantir a qualidade dos seus serviços e produtos;
- ao planeamento da qualidade;
- à avaliação dos resultados;

- à dependência das centrais de reserva e dos operadores turísticos;
- à gestão de recursos humanos, com ênfase na responsabilidade, na competência, no conhecimento, na participação, na formação e na satisfação dos recursos humanos.

Seguidamente caracterizamos a gestão estratégica de cada grupo:

- **Grupo 1: "Qualidade de tipo médio alto"**

  Este grupo representa 41,27% das unidades inquiridas, sendo constituído por 27,27% dos hotéis, 53,33% das pensões, 33,33% do turismo de habitação, 50,0% das estalagens e 100,0% do turismo rural e dos apartamentos turísticos. No grupo 1, as pensões e os hotéis representam 84,60 %.

  Este é o maior grupo e as suas estratégias da qualidade caracterizam-se por as unidades elaborarem as estratégias globais anuais e o plano da qualidade com base na pesquisa de mercado. Têm em vista, entre outros objectivos principais, o aumento da quota de mercado. Neste sentido, dão ênfase à qualidade que é alvo de comunicação externa e interna, sendo divulgada internamente nas reuniões departamentais. Valorizam o marketing e a publicidade, com vista à diferenciação dos seus produtos e serviços de qualidade, assim como promovem a sua imagem.

  Estas unidades estão organizadas em áreas funcionais com delegação de responsabilidades e competências. Privilegiam os recursos humanos proporcionando a gestão participativa, a formação e o treino dos empregados, por forma a que seja incrementada a capacidade de resposta às solicitações dos mercados nacionais e internacionais.

  As unidades comparam os seus resultados de gestão com a concorrência, avaliam e controlam os produtos e serviços que vendem, assim como os que adquirem a fornecedores. Preocupam-se com a insatisfação dos clientes, actuando com acções correctivas face a sugestões, resultados de inquéritos e reclamações.

  A dependência das centrais de reservas e dos operadores turísticos é praticamente nula e é a mais baixa dos seis grupos. O seu público alvo são portugueses, espanhóis e ingleses, numa percentagem de 93%.

  Por ordem decrescente, os principais segmentos de mercado são férias, negócios e incentivos, congressos e conferências e individuais.

  O preço e a qualidade do serviço não são determinados pela comparação com a concorrência, mas sim baseados em parâmetros de custo e preço psicológico, ou seja, o preço que o cliente tem capacidade e considera justo pagar, pelo produto e pelo serviço que pretende adquirir.

  Do nosso ponto de vista, as unidades pertencentes a este grupo praticam um conjunto de estratégias que, associadas à respectiva graduação nos permite concluir que têm uma postura qualitativa média alta, se bem que a hotelaria e as pousadas se enquadrem num nível alto.

  Este grupo difere significativamente, em relação ao factor:

  - "pesquisa de mercado e comunicação" dos grupos 2 e 6;
  - "gestão da qualidade baseada nos recursos humanos" do grupo 5;
  - "qualidade como objectivo da gestão" dos grupos 3, 4, 5 e 6;
  - "dependência das centrais de reservas e operadores turísticos" do grupo 4.

- **Grupo 2: "Qualidade de tipo baixo"**

  Este grupo representa 9,52% do total das unidades da amostra. No total geral das unidades inquiridas, um terço do turismo de habitação está representado neste grupo.

  Neste grupo que atribui o sucesso da sua unidade à qualidade, a qual também é o objectivo da sua gestão, todos os outros factores estratégi-

cos da qualidade têm valores médios negativos, o que implica que a qualidade é praticada de uma forma empírica, não sendo sistematizada, nem baseada em conhecimentos técnico-científicos.

Este grupo também aceita, as sugestões das centrais de reserva e operadores turísticos, se bem que 86% dos seus clientes sejam individuais e destes, 95% portugueses e espanhóis.

Nestas unidades, o serviço prestado é personalizado, atendendo sempre que possível os desejos dos clientes.

Não investem em publicidade nem em marketing, sendo a gestão feita diariamente de acordo com as necessidades do momento. Utilizam estratégias de nicho para se manterem e vencerem no mercado. Denominámos este grupo estratégico como sendo de tipo médio baixo. Também poderiamos atribuir-lhe a designação de familiar, pois para além de os familiares também fazerem parte dos recursos humanos da unidade, a gestão praticada não envolve técnicas de gestão. Este grupo difere significativamente em relação ao factor:

- "satisfação dos clientes e posição em relação à concorrência" do grupo 4;
- "modernização da gestão e garantia da qualidade" do grupo 3;
- "pesquisa de mercado e comunicação" dos grupos 1, 4 e 5;
- "qualidade como objectivo da gestão" dos grupos 3, 4, 5 e 6.

■ **Grupo 3: "Qualidade de tipo bom"**

O terceiro grupo é constituído por dez unidades que representam 15,87% do total da amostra. Estão incluídos 27,27% dos hotéis, 50,0% dos apartamentos-hotéis, 3,33% das pensões, 100,00% das pousadas e 33,33% do turismo de habitação. Relativamente à constituição do grupo, verifica-se que 60,0% deste grupo são hotéis, e destes, 65,0% são hotéis de 5*e 4*.

Para estas unidades a qualidade está incorporada na estratégia global. Praticam a qualidade como objectivo da gestão. Dão ênfase à comparação dos resultados da qualidade e da satisfação dos clientes com a concorrência. Comparam o seu posicionamento com a concorrência no que concerne ao preço e à qualidade de serviço praticados, desde que no mesmo segmento de oferta. Os produtos e serviços fornecidos por terceiros, assim como os da própria unidade, estão sujeitos a controlo da qualidade e têm garantia da qualidade. Este grupo tem uma dependência média das centrais de reserva e dos operadores turísticos. Também se posiciona na gama média, quanto à participação e formação dos trabalhadores, no entanto, delega responsabilidades com vista à motivação dos recursos humanos, contribuindo, assim, para a melhoria da qualidade dos produtos e serviços que oferece.

Geralmente não faz publicidade nem promoções, assim como não têm procedimentos escritos da qualidade. A pesquisa de mercado tem pouca influência na estratégia e no plano da qualidade.

As unidades que apostam nas diferenças de serviço prestado, distinguem-se pela imagem de marca que detêm e não se confrontam com elevado número de concorrentes.

Este grupo aproxima-se das exigências de qualidade que o mercado global cada vez mais exige, estando as estratégias que pratica num nível geral bom. Deve-se salientar que os hotéis de 5* apresentam um nível da qualidade de tipo excelente.

Este grupo difere significativamente em relação ao factor:

- "qualidade como objectivo da gestão" do grupo 1 e 2;
- "competitividade do binómio preço - serviço" dos grupos 4 e 6;
- "pesquisa de mercado e comunicação da qualidade" dos grupos 4 e 5.

- **Grupo 4: "Qualidade de tipo excelente"**

Este grupo é constituído por oito unidades de alojamento que representam 12,70% do total da amostra. Nele estão representadas 100,00% das albergarias, 22,73% dos hotéis, 50,00% das estalagens e 3,33% das pensões. A quota dos hotéis neste grupo é de 62,50%. As estalagens e as albergarias têm uma quota no grupo de 12,50%.

A orientação estratégica deste grupo consiste num plano estratégico da qualidade, influenciado pela pesquisa de mercado, satisfazendo os desejos e necessidades dos clientes e prestando serviço de qualidade acima da média praticada pelos seus concorrentes. A satisfação dos clientes é primordial, actuando com acções correctivas, sempre que haja reclamações ou sugestões destes. Têm uma fortíssima dependência das centrais de reservas e operadores turísticos. Consideram a promoção e a publicidade da qualidade do serviço prestado como um vector de sucesso. Os procedimentos da qualidade para cada função são escritos e do conhecimento dos empregados adstritos a essa função. No entanto, estas unidades apresentam o grau mais fraco de participação dos empregados no plano da qualidade, assim como a formação e o treino são apenas realizados esporadicamente. A explicação para este facto tem três vertentes. A primeira provém de estas unidades estarem organizadas em áreas funcionais com delegação de responsabilidades e de competências, a segunda é devido a que os seus funcionários são recrutados tendo já o perfil e conhecimentos adaptados à função a desempenhar, e a última baseia-se no facto das reuniões com o pessoal terem periodicidade semanal, havendo, portanto, um bom acompanhamento das tarefas e onde o esclarecimento das dúvidas tem lugar.

O binómio qualidade do serviço - preço a praticar, é um rácio independente do praticado pela concorrência, na medida em que os preços são negociados com as centrais de reservas e operadores turísticos, cujas sugestões da melhoria de qualidade são geralmente implementadas.

A estratégia de marketing destas unidades assenta na diversificação de produtos e de mercados, estando sempre prontas a cativar o cliente, com novos serviços e produtos. As unidades diferenciam o seu serviço através de várias dimensões, como sejam o nível de serviço prestado, as políticas de comercialização e de promoção e uma gestão de imagem e de marca que ajuda a desenvolver o sentimento de lealdade na clientela.

Do nosso ponto de vista, este grupo constituído por 3 tipos de oferta, aproxima-se das exigências de qualidade e excelência, que o mercado único e o mercado internacional exigem.

Este grupo difere significativamente em relação ao factor:

- "dependência das centrais de reserva e operadores turísticos" dos grupos 1 e 5;
- "satisfação dos clientes e concorrência" dos grupos 2, 5 e 6;
- "pesquisa de mercado e comunicação" dos grupos 2, 3 e 6;
- "gestão da qualidade baseada nos recursos humanos" dos grupos 1, 2, 3 e 6;
- "qualidade como objectivo da gestão" dos grupos 1 e 2;
- "competitividade do binómio preço/serviço" dos grupos 3 e 5.

- **Grupo 5: "Qualidade de tipo médio"**

Este grupo é constituído por seis unidades de alojamento turístico que representam 9,52% do total da amostra. Relativamente ao total por tipo, este grupo representa 13,64% dos hotéis, 50,00% dos apartamentos-hotéis e 6,67% das pensões.

Estas unidades apostam fortemente no binómio qualidade - preço, estando atentas ao serviço e ao preço praticado pelos seus concorrentes. A qualidade é considerada como um factor de sucesso da sua unidade. A pesquisa de mercado influencia a estratégia global e o plano da qualidade.

Estas unidades rejeitam fortemente a comparação das suas políticas e estratégias de gestão com a concorrência. O seu plano da qualidade não prevê a formação e o treino dos funcionários, devido à permanente vigilância das chefias superiores.

A satisfação do cliente é apenas determinada pelo inquérito que se encontra nos quartos, não sendo avaliados os resultados.

A qualidade não é avaliada contabilisticamente. Não controlam a qualidade dos seus produtos e serviços nem a dos seus fornecedores.

No cômputo geral, as unidades têm estratégias de tipo médio. Este grupo difere significativamente em relação ao factor:

- "pesquisa de mercado e comunicação" dos grupos 2, 3 e 6;
- "gestão da qualidade baseada nos recursos humanos" dos grupos 1 e 6;
- "qualidade como objectivo da gestão" dos grupos 1 e 2;
- "competitividade do binómio preço - serviço" dos grupos 4 e 6;
- "dependência das centrais de reserva e operadores turísticos" do grupo 4;
- "satisfação dos clientes e posição em relação à concorrência" do grupo 4;
- "modernização da gestão e garantia da qualidade" do grupo 3.

■ **Grupo 6: "Qualidade de tipo médio baixo"**

Neste grupo há sete unidades e representam 11,11% da amostra total. O grupo apenas é constituído por um tipo de alojamento - pensão, sendo três de 3* e quatro de 2* que representam 23,33% do total da amostra por tipo.

Este grupo é aquele que privilegia em primeiro lugar a qualidade como factor de sucesso. Considera a gestão participativa dos trabalhadores no plano da qualidade, bem como as actividades de formação e de treino são importantes para a boa prestação de serviço.

Estes factores estratégicos apresentam neste grupo os valores mais elevados relativamente aos 6 grupos considerados.

A sua orientação estratégica rejeita a comparação dos seus resultados de gestão com os dos seus concorrentes, tal como rejeita a comparação do posicionamento do preço e da qualidade do serviço com os concorrentes.

Também este grupo não tem a preocupação de garantir a qualidade através da avaliação e controlo dos seus produtos e serviços, nem a dos seus fornecedores. Estas unidades não realizam pesquisa de mercado. Não fazem promoção nem publicidade da sua unidade, nem dos seus serviços.

A insatisfação do cliente não os preocupa, pelo que não actuam com acções correctivas face às reclamações e às sugestões. Consideram que o cliente está geralmente satisfeito, porque o pessoal da unidade tem permanente acompanhamento das chefias superiores.

Estas unidades estão dependentes das centrais de reservas e dos operadores turísticos e apenas algumas sugestões que não envolvam custos são consideradas no plano da qualidade. Efectivamente, a gestão praticada é bastante "doméstica", havendo uma preocupação grande com a redução de custos.

As estratégias são do tipo médio baixo e muito viradas para o interior da unidade. Este grupo difere significativamente em relação ao factor:

- "qualidade como objectivo da gestão" dos grupos 1 e 2;
- "gestão da qualidade baseada nos recursos humanos" do grupo 5;
- "pesquisa de mercado e comunicação da qualidade" dos grupos 1, 4, e 5;
- "competitividade do binómio preço/serviço" dos grupos 3 e 5;

- "satisfação dos clientes e posição em relação à concorrência" do grupo 4;
- "modernização da gestão e garantia da qualidade" do grupo 3.

11. ALGUMAS RECOMENDAÇÕES

O sucesso das economias depende, em grande parte, da actuação dos agentes privados, pois as estratégias empresariais determinam a competitividade dos vários sectores.

A qualidade no âmbito do Alojamento Turístico não é dissociável do Turismo, fazendo parte integrante um do outro, pois o alojamento é imprescindível numa deslocação superior a 24 horas, seja qual for o motivo, nomeadamente de férias, de desporto, de negócios, de congressos, de incentivos, de saúde ou de religião.

Embora a nossa oferta de alojamento turístico na Costa de Lisboa disponha de grupos que praticam estratégias da qualidade, há, no entanto, necessidade de melhorar e colmatar algumas falhas.

Assim, os gestores e empresários das unidades de alojamento terão **de investir nos domínios da qualidade, da produtividade, e da inovação,** para obter melhores resultados líquidos, pelo que necessariamente:

- os custos operacionais devem ser reduzidos, nomeadamente a partir da melhoria da produtividade;
- o tempo de resposta às expectativas do mercado deve ser menor;
- a formação profissional deve ser aumentada e melhorada;
- o alojamento turístico tradicional deve ser remodelado, mantendo a sua traça e ambiente originais;
- a gestão necessita de ser mais dinâmica e criativa;
- o departamento vendas deve ser mais agressivo;
- o departamento de marketing deve ser actuante e dar especial atenção à comunicação, dando relevo à publicidade e à promoção;
- os índices qualitativos na prestação dos diferentes serviços necessitam de ser melhorados;
- a colaboração e o relacionamento com as agências de viagens têm de ser melhorados.

Destes aspectos, **o mais marcante refere-se aos recursos humanos,** que no sector do alojamento apresenta:

- baixo nível escolar da grande maioria da população activa no sector;
- baixo número de trabalhadores com cursos superiores e especializados;
- falta de formação específica para o desempenho do serviço de hospitalidade;
- situação deficitária relativamente aos níveis da qualificação.

O sucesso da unidade de alojamento depende, não só da sua capacidade produtiva, comercial, financeira, mas também da competência dos seus recursos humanos.

Neste sentido, há que formar recursos humanos de qualidade, proceder ao reequipamento, à modernização dos produtos e serviços, reciclar as organizações orientando-as para a satisfação do cliente, mudar mentalidades, fomentar a cultura da empresa, ou seja, actuar no mercado com **QUALIDADE**.

BIBLIOGRAFIA

AIEST, (1994), ***Tourisme Qualitatif,*** Publication de L'Association Internationale d'Experts Scientifiques du Tourisme, Suíça.

BAPTISTA Manuel, (1990), ***O Turismo na Economia - Uma Abordagem Técnica, Económica, Social e Cultural,*** 1.ª Edição, Instituto Nacional de Formação Turística, Lisboa.

BERNILON, A. e CERUTTI, O. (1990), ***A Qualidade Total - Implementação e Gestão,*** Ed. Didel, Edições Técnicas, Lisboa.

BROWN, T., (1991), *Internal Research Helps to Define Service Quality.* ***Marieting Nems,*** Volume 25.

BRYMAN, A. e CRAMER, D., (1992), ***Análise de Dados em Ciencias Sociais - Introdução às Tecnicas Utilizando o SPSS,*** Ed. Celta, Lisboa.

COELHO, Manuela Sarmento, (1994), ***Qualidade na Indústria do Alojamento Turístico na Costa de Lisboa,*** Tese de Mestrado, Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, Lisboa.

COELHO, Manuela Sarmento, (1995), ***Tourism in Portugal - Quality and New Perspectives,*** Institut d'Études Internationales et de Development, Paris.

EALLAN, R., (1989), *Small Country Hotels and Hotel Award Schemes as a Measurement of Service Quality,* ***Service Industry Journal*** (UK), Volume 9.

EDER, R.W., UMBREIT, W.T., (1989). *Measures of Managerial Effectiveness In Hotel Industry,* ***Hospitality Eduration and Research Journal,*** pp. 333-341.

FIRNSTAHL, T. W., (1989). *My Employees are My Service Guarantee.* ***Harvard Business Review.***

HOLLOWAY, Cristopher e PLANT R. V. , (1993), ***Marketing for Tourism,*** 3.ª Edição, Pitman Publising, London.

HORWATH & HORWATH, (1993), ***Worldwide Lodging Industry,*** Edição anual, Horwath & Horwath, Nova York.

LEWIS, B., e ENTWISTLE, T., (1989), ***Managing the Service Encounter: A Focus on the Employee,*** Manchoster School of Management, Manchester.

MATIAS, Fernanda Inácio, (1992), **A Indústria Hoteleira no Algarve,** Tese de mestrado, Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, Lisboa.

MATOS SILVA, João Albino, (1991), ***O Turismo Em Portugal - Uma Análise De Integracão Micro - Macro Económica,*** Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa.

MIDDLETON, Victor., (1988), ***Marketing in Travel and Tourism,*** 1.ª Edição, Butterworth Heinemann, Londres.

MULLER, W., (1991). *Gaining Competitive Advantage Through Customer Satisfaction,* ***European Management Journal,*** Volume 9

OBEROI, U. e HALES, C., (1990). *Assessing the Quality of the Conference Hotel Service Product.* ***Service Industry Joumal*** (3JK), Vol. 10.

PODDU, Giuseppe Loy, (1992), *Tourisme et Qualité: Un Axiome Depandant de l'Homme,* ***Revue du Tourisme,*** Lugano (Suíça).

PORTER, Michel E., (1986), ***Estratégia Competitiva,*** Editora Campus, Rio de Janeiro.

REIS, Elizabeth e MOREIRA, Raúl, (1993), ***Pesquisa de Mercados,*** Ed. Silabo, 1.ª edição, Lisboa.

REIS, Elizabeth, (1993), ***Análise de Clusters: Um Método de Classificação sem Preconceitos,*** 2.ª edição, Ed. Giesta do ISCTE, Lisboa

REIS, Elizabeth, (1993), ***Análise Discriminante: Um Método de Estatística Multivariada para Discriminar Sem Excluir,*** 2.ª edição, Ed. Giesta do ISCTE, Lisboa

REIS, Elizabeth, (1993), ***Análise Factorial das Componentes Principais: Um Método de Reduzir Sem Perder Informação,*** 2.ª edição, Ed. Giesta do ISCTE, Lisboa.

SECRETARIA DE ESTADO DO TURISMO, (1993), ***Alojamento Turístico - Guia Oficial,*** Ministério do Comércio e Turismo (Direcção Geral do Turismo), Lisboa.

SECRETARIA DE ESTADO DO TURISMO, (1993), ***Indicadores Estatísticos,*** Análise de Conjuntura, Boletins n.º 1,2,3,4,5, Ministério do Comércio e Turismo (Direcção Geral do Turismo), Lisboa.

SHRIVER, S. J., (1988). *Managing Quality Servire,* Ed. Educational Institute of the American Hotel and Motel Association.

SMITH, L.R.O., (1991). *Achieving Quality In A 5 Star Hotel.* ***Quality Review,*** November.

WITT, S. e MOUTINHO, L., (1989), ***Tourism Marieting and Management Handbook,*** 1.ª Edição, London, Prentice Hall International (UK).

WORLD TOURISM ORGANIZATION, (1991), *Tourlsm to the Year 2000 -Qualitative Aspects Affecting Global Growth,* Ed. WTO.

Palavras-chave: baterias Ni-Cd, células secundárias, contaminação ambiental, energia e ambiente, metais tóxicos, processos de reciclagem
Keywords: energy storage, environmental risk, Ni-Cd batteries, rechargeable cells, recycling processes, waste disposal

BATERIAS DE NÍQUEL-CÁDMIO PORTÁTEIS: TECNOLOGIA, ECONOMIA, AMBIENTE E RECICLAGEM

A.M.G. Pacheco[1,2], F. Margarido[1,3], C.A. Nogueira[5], P.S.D. Brito[6], C. Guimarães[1,4], F. Delmas[5]

[1]CVRM, [2]DEQ, [3]DeMat e [4]DEMIN, Instituto Superior Técnico, Lisboa
[5]IMP, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisboa
[6]ICORR, Investigação e Consultoria em Corrosão Lda., Mem Martins
Original submetido em : 17 de Maio de 1996

"There are no harmless substances; there are only harmless ways of using substances." [1]

RESUMO

A situação do segmento portátil das baterias de níquel-cádmio é aqui abordada nas suas vertentes tecnológica e de mercado, em conjunto com um olhar sobre os riscos ambientais e de saúde pública inerentes à rejeição indiscriminada após uso, e sobre a mais-valia económica e ambiental que poderá decorrer da respectiva reciclagem.

ABSTRACT

The current status of the nickel-cadmium, aqueous rechargeable battery (sealed type) is briefly reviewed. Apart from performance, design and market features, several aspects concerning environmental liability and the need for a safer disposal are covered as well.

ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS E AMBIENTAIS

As baterias de níquel-cádmio são células secundárias robustas e eficientes, cujas características as tornam num dos mais interessantes tipos de pilhas recarregáveis disponíveis no mercado, a saber [2-5]:

i) elevado tempo de vida – até 25 anos, nalgumas baterias industriais – e de prestação efectiva – 500 ciclos em média, para células portáteis;
ii) grande segurança (operação entre -20 e 70 C) e manutenção diminuta, com recarga rápida (< 15 min) e eficiente: em sobrecarga moderada, por exemplo, a recombinação do oxigénio produzido no ânodo é suficiente para manter a pressão interna das baterias seladas dentro de limites aceitáveis [6];
iii) tensão praticamente constante na descarga – até 13.6 V em aplicações portáteis de potência, a qual pode atingir 350 W – com queda súbita no fim do ciclo;
iv) baixo custo comparativo e grande variedade de formas e dimensões – de pilhas-botão com alguns milímetros e menos de um grama [3] até células industriais acima de 40 kg [7].

No início da presente década [8], o mercado mundial das baterias portáteis Ni-Cd – cilíndricas, prismáticas e de botão, todas seladas – situava-se nos 955 milhões de unidades: destas, cerca de 90% eram do tipo cilíndrico; as pilhas-botão vinham a seguir, embora a considerável distância (< 10% >), e as células prismáticas respondiam por uma quota modesta do mercado, a rondar os 7 milhões de células.

A constituição típica duma unidade cilíndrica encontra-se esquematizada nas Figuras 1 e 2; à excepção dos materiais de eléctrodo, as especificações apresentadas são meramente indicativas.

O emprego de cádmio em baterias seladas (5592 t) representava quase quatro vezes o correspondente aos dois outros consumidores relevantes – baterias industriais (1287 t) e de aviação (161 t) – e o sector Ni-Cd era responsável, em conjunto e por si só, pelo consumo de cerca de metade da produção mundial de cádmio [8]. Após o *boom* ocorrido nos anos 80, o cres-

cimento é agora bem mais moderado embora continue a ser liderado pelo segmento das baterias portáteis, com uma taxa que deverá estar 2 a 3 pontos acima da média global do sector. Isto faria com que, por volta do ano

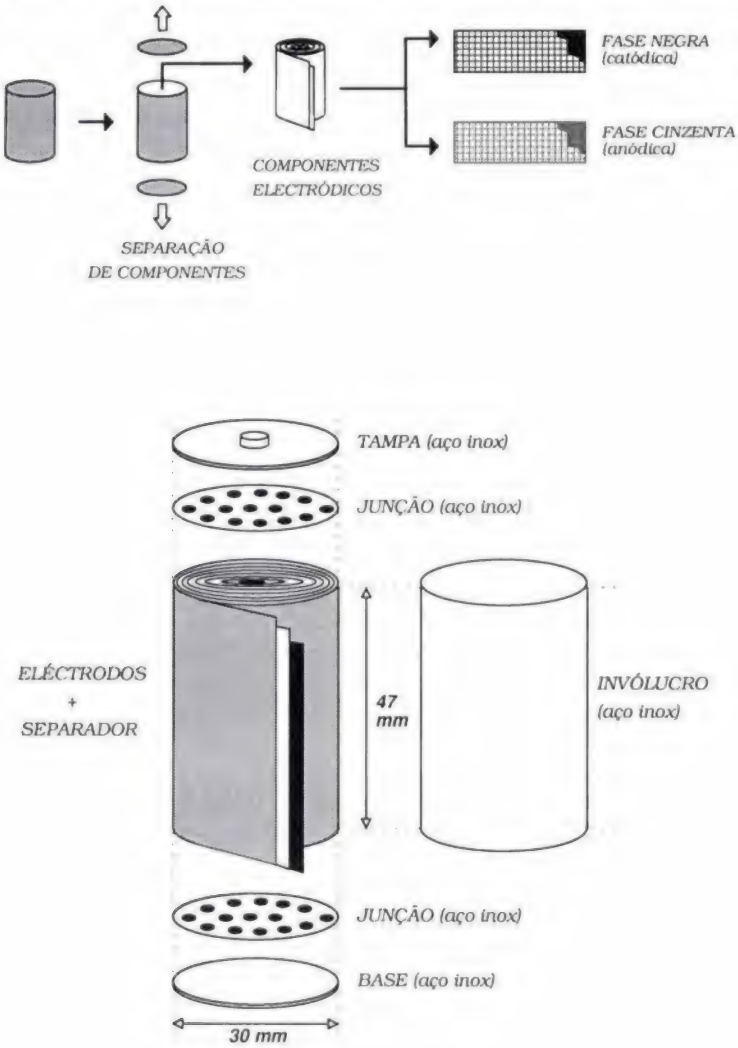


Figura 1 – Fases do desmantelamento de uma bateria portátil (cilíndrica) de Ni-Cd.

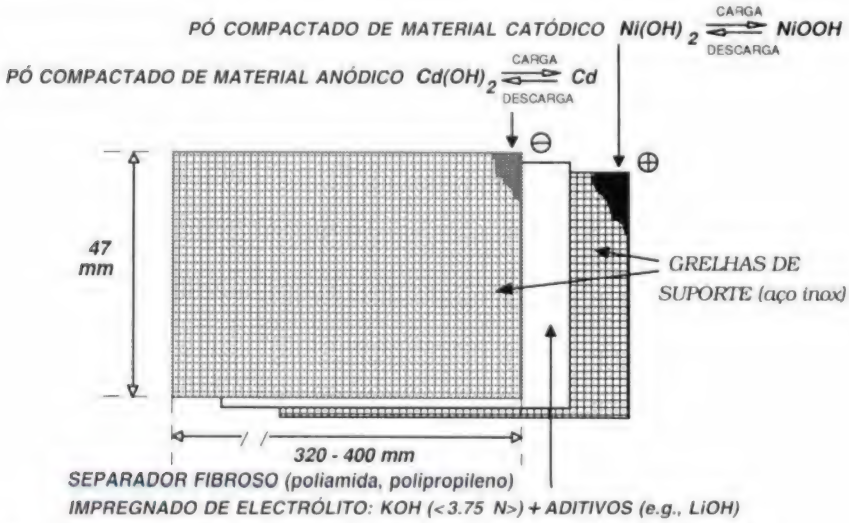


Figura 2 – Constituição electródica de uma bateria portátil (cilíndrica) de Ni-Cd.

2000, o consumo das pequenas células seladas na União Europeia se aproximasse do equivalente a 1 kg por pessoa e por ano [9]. Esta estimativa poderá revelar-se algo inflacionada, sobretudo devido a:

i) evolução desfavorável no preço do cádmio – como aconteceu no passado ainda recente (1988) – o que poderá conduzir à reapreciação de alternativas quais sejam, por exemplo, as baterias de níquel-ferro [10];
ii) desenvolvimento e comercialização de novos sistemas como a pilha alcalina secundária de MnO_2-Zn [11];
iii) crescente e fundada preocupação com o uso do cádmio em utilidades e serviços domésticos, o que tem feito das baterias rejeitadas a maior fonte deste elemento tóxico nos lixos urbanos [12-14].

Os últimos números disponíveis para o mercado nacional – números de 1991, publicados em 1993 – imputam a este resíduo um potencial de contaminação equivalente ao lançamento para o ambiente de 359 kg de cádmio [15]. Apesar da sua importância tecnológica e do seu custo relativamente baixo (< 0.8 USD/lb >), este elemento e os respectivos compostos colocam sérios problemas ao nível ambiental, devido à sua toxicidade, estabilidade e facilidade de incorporação na cadela alimentar. Os estudos epidemiológicos em seres humanos serão porventura mais limitados do que os disponíveis para arsénio, crómio ou níquel, por exemplo [16-19], se bem que a evidência tóxica (carcinogénica) em animais seja considerada suficiente há mais de uma década [20]. Nestas condições, qualquer contributo para a redução significativa das emissões antropogénicas de cádmio resultantes dos sectores primários de utilização – entre os quais se inclui o da incorporação em baterias – deverá ser encarado como relevante para a melhoria da qualidade do meio ambiente, até porque, nesses mesmos sectores primários[1], a substituição das actuais tecnologias não parece viável a curto ou mesmo médio prazo. Acresce que:

i) o segmento das pequenas células seladas é aquele que apresenta a maior taxa de crescimento do sector Ni-Cd;
ii) a(s) tecnologia(s) de recuperação existente(s) parece(m) essencialmente vocacionada(s) para as sucatas de baterias industriais;
iii) a descentralização no consumo das baterias portáteis torna os desperdícios destas comparativamente mais difíceis de controlar do que outras fontes antropogénicas de cádmio (processamento minero-metalúrgico, queima de combustíveis fósseis, produção e utilização de adubos, entre outras);
iv) o teor elevado em Cd faz com que o tratamento das células usadas seja não só ambientalmente recomendável como ainda economicamente atractivo: com efeito, este metal pode representar até 15% da sucata indiscriminada e até 20% das placas negativas, numa base ponderal[2] [21];
v) o Estado Português procedeu já à transposição da Directiva do Conselho 91/157/CEE de 18 de Março relativa a pilhas e acumuladores contendo matérias perigosas, tendo sido recentemente aprovado o 1.º Programa de Acção Relativo a Pilhas de Mercúrio e Acumuladores de Cádmio (Anexo A da Portaria n.º 1081/95 de 1 de Setembro).

As vantagens no tratamento das baterias rejeitadas tornar-se-ão evidentes com a recuperação de dois outros metais – níquel e cobalto: ambos incorpo-

[1] Protecção anticorrosiva (revestimentos) de aços, produção de ligas especiais, formulação de aditivos para tintas, plásticos e cerâmicos, fabricação de eléctrodos para baterias (90%); outras aplicações menores incluem a produção de catalisadores, células solares, semicondutores e lasers (10%).

[2] Compare-se, por exemplo, com o teor incorporado em plásticos genéricos via pigmentos (≤ 2%), ou no PVC via estabilizadores (< 0.5%).

ram os eléctrodos positivos, o primeiro como elemento activo sob a forma de oxohidróxido (forma oxidada) ou hidróxido (forma reduzida), e o segundo como elemento aditivo. O níquel (< 3.5 USD/lb >) é considerado estratégico, e ocorre na Natureza em depósitos minerais escassos e de baixo teor. Na União Europeia, por exemplo, não é conhecido qualquer minério de Ni: este é obtido como subproduto das metalurgias do cobre desde que o respectivo processamento apresente viabilidade económica.

A incorporação em pilhas seladas é particularmente elevada, podendo atingir 25% da massa total de componentes contra 10% em baterias industriais [22], o que faz da sucata daquelas uma importante fonte de níquel em termos do espectro de resíduos recicláveis para o efeito. Quanto ao cobalto, e apesar do baixo teor médio presente nas sucatas, tanto o valor comercial (< 28 USD/lb >) como a importância estratégica justificam ou até mesmo aconselham o seu reaproveitamento.

Por outro lado, a evidência epidemiológica para o níquel e respectivos compostos é mais do que suficiente, sendo apenas ultrapassada em quantidade pela do crómio e em antiguidade pela do arsénio [23-25,20, 26-29,17,30,31,19]. Os estudos sobre o cobalto e a correspondente interacção com material genético são limitados e algo inconclusivos.

RECICLAGEM DE BATERIAS ESGOTADAS: SITUAÇÃO ACTUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

Considerando as vantagens económicas decorrentes da presença de apreciáveis quantidades de níquel e cádmio (e também de algum cobalto), o estudo e implementação de processos de reciclagem para este tipo de resíduos evitará não só o desperdício de metais caros e estratégicos como a emissão incontrolada de elementos perigosos para o ambiente. Várias tecnologias têm sido desenvolvidas para o efeito, embora possam ser divididas em dois grupos principais – pirometalúrgicas e hidrometalúrgicas. Contudo, em termos práticos, todas as unidades de reciclagem de baterias Ni-Cd a operar na Europa (Suíça, França, Suécia) [32], nos EUA e no Japão são de natureza essencialmente pirometalúrgica. A empresa sueca SAB NIFE – uma das maiores e mais antigas do sector, herdeira da NIFE Jungner – começou a operar a sua primeira instalação de reciclagem em 1977: para uma capacidade nominal de tratamento de 1000 t/ano, são recuperadas 150 t de cádmio e 340 t de níquel, mais uma quantidade equivalente de materiais ferrosos e plásticos [33]. O processo encontra-se descrito em Bärring [34] e não difere muito da operação francesa SNAM [21]; algo questionável já parece ser, todavia, a destilação para óxido seguida de recuperação pulverulenta referida em Ohira [35].

As tecnologias hidrometalúrgicas não encontraram ainda aplicação industrial no que toca ao tratamento das baterias, embora venham sendo desenvolvidos esforços nesse sentido. Com efeito, este tipo de processamento é, à partida, bastante menos poluente e mais apropriado para a obtenção de produtos finais com elevada pureza, logo com valor comercial acrescido. Por outro lado, sendo mais versátil, torna-se particularmente adequado a pequenas unidades de reciclagem e ao tratamento de materiais complexos. A investigação neste domínio tem sido levada a cabo sobretudo na Suécia (NIFE) [36], no Reino Unido (Harwell) [37] e nos Países Baixos (TNO) [38,39], se bem que não tenha tido até agora qualquer expressão industrial por envolver custos superiores aos da pirometalurgia. A literatura mais recente aponta no sentido de algum desenvolvimento dos processos químicos e electroquímicos, e para rotas hidrometalúrgicas diferenciadas – precipitação, electrodeposição, extracção líquido-líquido – no que concerne à

recuperação metálica a partir de baterias esgotadas. Foi mesmo proposta uma via puramente hidrometalúrgica [9], se bem que a alternativa térmica continue preponderante.

O desenvolvimento de tecnologias leves aplicadas à resolução deste problema deverá provavelmente passar por algumas das seguintes questões:

i) como melhorar a separação física do material a reciclar dos respectivos elementos de suporte e confinamento, em ordem a evitar a contaminação – ou, pelo menos, a sobrecarga – dos processos de extracção?...
ii) podem utilizar-se lixiviantes menos dispendiosos e/ou corrosivos sem perda de eficiência/selectividade?... será possível recuperar os metais directa e selectivamente a partir dos licores, com elevado rendimento?...
iii) poderá efectuar-se a separação efectiva dos metais por extracção com solventes em meios bastante concentrados, como os que se antecipam?... (recorde-se que para o Ni e Co, por exemplo, a maior parte dos estudos é de carácter fundamental e realizada a partir de soluções diluídas [40-43]).

Estes são alguns marcos da fronteira actual do conhecimento neste domínio; outros haverá seguramente em termos da concepção e operação de reactores electroquímicos ou da própria cinética dos processos de eléctrodo. Por último, o desenvolvimento de uma via hidro-electrometalúrgica que contemple a recuperação destes metais deixa entrever ainda a vantagem de ser potencialmente aplicável a outros resíduos similares, tais como lamas da indústria de recobrimentos e/ou tratamentos de superfície, bem como catalisadores de Ni/Co esgotados, entre outros. Em qualquer caso, o processo deverá constituir-se numa alternativa à via pirometalúrgica – tecnologia algo pesada e de duvidosa inocuidade ambiental – e tornar-se assim mais adequado ao projecto de pequenas e médias unidades de tratamento de resíduos, levando a que este possa ser feito de uma forma mais flexível e descentralizada.

REFERÊNCIAS

[1] E. Browning 1965. *Toxicity and Metabolism of Industrial Solvents*. Elsevier, Amsterdam.

[2] Cadmium Association 1979. Cadmium in batteries. *Technical Notes on Cadmium*. Cadmium Association, London.

[3] VARTA Batterie AG 1982. *Sealed Nickel-Cadmium Batteries*. VDI/Verlag, Dusseldorf.

[4] D. Linden (Ed.) 1995. *Handbook of Batteries*. McGraw-Hill, New York.

[5] P.D. Bennet, K.R. Bullock, M.E. Fiorino 1995. Aqueous rechargeable batteries. *Electrochem. Soc. Interface* **4**(4), 26.

[6] V.A. Ettel 1990. Rapid charging offers new market opportunities for nickel-cadmium batteries. *Nickel-Cadmium Battery Update 1990 (Brussels)*. Cadmium Association, London, 18.

[7] A.R. Mann 1983. Nickel-cadmium batteries in industrial applications. *Proc. 4th Int. Cadmium Conference*. Cadmium Association, Cadmium Council and International Lead Zinc Research Organisation, London/New York, 43.

[8] J.P. Cornu 1990. An overview of nickel-cadmium battery markets and applications. *Nickel-Cadmium Battery Update 1990 (Brussels)*. Cadmium Association, London, 6.

[9] M. Bartolozzi, G. Braccini, S. Bonvini, P. Marconi 1995. Hydrometallurgical recovery process for nickel-cadmium spent batteries. *J. Power Sources* **55**, 247.

[10] S. Kulcsar 1984. Expected development of chemical power sources. *J. Power Sources* **11**, 69.

[11] L. Binder, J.D. Ivad, K. Kordesch 1992. Rechargeable high energy batteries based on the alkaline manganese dioxide-zinc system. *IChemE Symp. Ser.* **127**, 259.

[12] J. Bromley 1983. Environmental aspects of the release and fate of cadmium in municipal landfills, with reference to the use and disposal of nickel-cadmium batteries and pigmented plastics. *Proc. 4th Int Cadmium Conference.* Cadmium Association, Cadmium Council and International Lead Zinc Research Organisation, London/New York, 61.

[13] W. Genest 1984. *Waste Problems of Used Batteries.* Federal Environmental Agency, Berlin.

[14] M. Haight, D.K. Asanti-Duah, L. Craig 1992. *Assessing the Environmental Effects of Disposal Alternatives for Household Batteries.* Institute for Risk Research, University of Waterloo, Waterloo ON (Canada).

[15] MPAT, MARN 1993. *Relatório do Estado do Ambiente e Ordenamento do Território, Vol. II – Ambiente.* Ministério do Planeamento e da Administração do Território e Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa, 113.

[16] S. Belman, G. Nordberg 1981. Role of metals in carcinogenesis. *Environ. Health Perspect.* **40**,12.

[17] F.W. Sunderman Jr 1984. Recent advances in metal carcinogenesis. *Ann. Clin. Lab. Sci.* **14**, 93.

[18] G. Kazantzis, L. Lilly (Eds.) 1985. *Handbook of the Toxicology of Metals.* Elsevier - North Holland, Amsterdam.

[19] T. Norseth 1988. Metal carcinogenesis. *Living in a Chemical World: Occupational and Environmental Significance of Industrial Carcinogens* (C. Maltoni, I.J. Selikoff, Eds.). The New York Academy of Sciences, New York, 377.

[20] International Agency for Research on Cancer 1982. Chemicals, Industrial Processes and Industries Associated with Cancer in Humans. *Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans (Suppl. 4).* IARC, Lyon, 13.

[21] C.F.P. Bevington 1985. Cadmium Recovery from Scrap Nickel-Cadmium Batteries in the EEC: Scope and Economics. *EEC Study Contract No. CC/84/149 – Final Report.* Metra Consulting Group Limited, London.

[22] J. Frenay, S. Feron 1990. Domestic battery recycling in Western Europe. *Recycling of Metals and Engineered Materiais* (J.H.L. van Linden, D.L. Stewart Jr, Y. Sahai, Eds.). The Minerals, Metals & Materials Soc., Columbus OH, 639.

[23] E. Pedersen, A. Andersen, A.C. Høgetveit 1973. Cancer of respiratory organs among workers at a nickel refinery in Norway. *Int. J. Cancer* **12**, 32.

[24] T. Norseth 1980. Cancer hazards caused by nickel and chromium exposure. *J. Toxicol. Environ. Health* **6**, 1219.

[25] L. Friberg, N. Nelson, J. Beaumont, B.A. Fowler, R. Lauwerys, G. Nordberg, J. Vostal, R. Zielhuis 1981. Introduction, general findings and general recommendations. *Environ. Health Perspect.* **40**, 5.

[26] K. Kasprzak, P. Gabryel, K. Jarczewska 1983. Carcinogenicity of nickel(II) hydroxides and nickel(II) sulfate in Wistar rats and its relation to the *in vitro* dissolution rates. *Carcinogenesis* **4,** 275.

[27] T. Norseth 1983. Epidemiological approach to nickel carcinogenicity – uses and limitation. *J. UOEH* **5**, 67.

[28] F.W. Sunderman Jr (Ed.) 1984. *Nickel in the Human Environment.* IARC, Lyon.

[29] V. Skaug, B. Gylseth, A.-L. Reiss, T. Norseth 1984. Tumor induction in rats after intrapleural injection of nickel subsulphide and nickel oxide. *Progress in Nickel Toxicology* (S.S. Brown, F.W. Sunderman Jr, Eds.). Blackwell, London, 37.

[30] T. Norseth 1985. The carcinogenicity of nickel and chromium. *Nutr. Res. Suppl.* **1**, 587.

[31] L. Tomatis 1988. The contribution of the IARC monographs program to the identification of cancer risk factors. *Living in a Chemical World: Occupational and Environmental Significance of Industrial Carcinogens* (C. Maltoni, I.J. Selikoff, Eds.). The New York Academy of Sciences, New York, 31.

[32] Consórcio Uniniquel SA/Electricity Association Technology Ltd/Péna Métaux SA/INETI 1993. The Development of a Novel and Economic Technology for

Recycling Toxic Metals from Ni/Cd Industrial Batteries and Similar Waste Materials. *EEC Contract No. BRE2-CT94-0947 – Workprogramme.* Comunicação pessoal.

[33] T. Anulf 1990. SAB NIFE recycling concept for nickel-cadmium batteries – an industrialised and environmentally safe process. *Proc. 6th Int. Cadmium Conference.* Cadmium Association, London, 161.

[34] N.-E. Bärring 1983. Recycling of nickel-cadmium batteries and process wastes – processes and operations of the new SAB NIFE plant. *Proc. 4th Int. Cadmium Conference.* Cadmium Association, Cadmium Council and International Lead Zinc Research Organisation, London/New York, 58.

[35] Y. Ohira 1986. Current status concerning the recycling of sealed nickel-cadmium batteries in Japan. *Proc. 5th Int. Cadmium Conference.* Cadmium Association, London, 41.

[36] H. Reinhardt, H.D. Ottertun, J.H.A. Rydberg 1979. *British Patent Specification No. 1475863* (10 June 1979).

[37] C. Stevens, S.J. Wright 1980. Disposal of scrap batteries. *Chemistry and Industry* **13,** 527.

[38] C.L. van Deelen, J. van Erkel 1990. Recovery of metals from spent nickel-cadmium batteries. *Nickel-Cadmium Battery Update 1990 (Brussels).* Cadmium Association, London, 72.

[39] J. van Erkel, C.L. van Deelen, B.A. Kamphuis, A.J. Visser 1994. Hydrometallurgical process for the treatment of used nickel-cadmium batteries. *EC/CANMET Workshop on Recycling of Metals, Minerals and Wastes 1994 (Toronto).* Preprint.

[40] J. Jacobs, M. Allard, S. Behmo, J. Moreau 1985. *Nickel and Cobalt Extraction Using Organic Compounds (EPO Applied Technology Series, Vol. 6).* Pergamon Press, Oxford.

[41] G. Ritcey, A. Ashbrook 1979. *Solvent Extraction Principles and Applications to Process Metallurgy, Part II.* Elsevier, London.

[42] J. Preston 1982. Solvent extraction of cobalt and nickel by organophosphorous acids. I – Comparison of phosphoric, phosphonic and phosphinic acid systems. *Hydrometallurgy* **9**, 115.

[43] D. Kerfoot, D. Weir 1988. The hydro and electrometallurgy of nickel and cobalt. *Proc. Symp. Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt (117th TMS Annual Meeting, Phoenix).* The Metallurgical Society, Columbus OH, 241.

DIFERENCIÁLIS
Informática, Lda.

CONSULTADORIA

ESTUDOS DE INFORMATIZAÇÃO E ACTUALIZAÇÃO

SOFTWARE

INTERNACIONAL, GESTÃO, DESENVOLVIMENTO À MEDIDA

HARDWARE

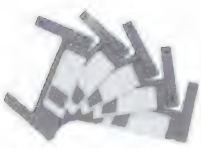
COMPUTADORES, IMPRESSORAS, SCANNERS, MULTIMÉDIA

CONSUMIVEIS

RATOS, TINTEIROS PARA JACTO DE TINTA, DISQUETES...

FORMAÇÃO

PRODUTOS MICROSOFT, LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO



Rua de Entrecampos n.º 64 C - 1700 Lisboa
Telef.: 796 83 26 – Fax: 796 92 79

Palavras chave: motor de explosão, combustíveis alternativos, gás natural, emissões poluentes, desempenho de motores

CONVERSÃO E OPERAÇÃO BI-COMBUSTÍVEL (GASOLINA OU METANO) DE MOTOR DE EXPLOSÃO

Prof. J. M. C. Mendes Lopes
Departamento de Engenharia Mecânica

Eng. J. P. Filipe Torneiro*
Transgás - Soc. Portuguesa de Gás Natural S.A.
Original submetido em: 19 de Junho de 1996

SUMÁRIO

A utilização de gás natural como combustível para motores de explosão apresenta um significativo número de vantagens e alguns inconvenientes relativamente à gasolina. Neste trabalho pretendeu-se identificar uns e outros e quantificar a sua influência. Converteu-se um motor monocilíndrico para a operação com metano, e realizou-se um estudo comparativo do seu desempenho e emissões poluentes com um e com o outro combustível.

ABSTRACT

Natural gas, as a fuel for spark ignition engines, presents a number of advantages and some drawbacks. The aim of this work is to identify and quantify some of them. A single-cylinder engine was converted to the operation with methane. A comparative study was carried out on the performance and pollutant emissions levels of the engine operated with either fuels.

1. INTRODUÇÃO

Pode afirmar-se que o início da utilização do gás natural como combustível de motores à escala mundial ocorreu durante a I Guerra Mundial, como ajuda às políticas de conservação dos combustíveis líquidos tradicionais. Esta tecnologia encontra-se hoje já bastante expandida num conjunto de países. Levando em consideração a estreita relação entre as políticas energéticas e problemas como a poluição ambiente e a escassez de reservas de combustíveis fósseis, e atendendo também à chegada do gás natural a Portugal, admite-se que o momento actual justifica uma profunda análise das diferentes formas de transformação energética, em particular, as inerentes aos motores térmicos.

O gás natural, cujo principal componente é o metano, como combustível de motores de explosão apresenta um conjunto de vantagens e desvantagens relativamente à gasolina. Das vantagens destacam-se como mais relevantes um menor nível de emissões (quer dos poluentes tradicionais, quer de dióxido de carbono) e um melhor rendimento do motor. As principais desvantagens são de ordem logística, o seu armazenamento em veículos, e (em motores compatíveis com os dois combustíveis) uma potência inferior.

Com o presente trabalho pretendeu-se caracterizar o funcionamento de um motor de explosão mono-cilíndrico após a implementação de transformações simples numa instalação previamente existente. Pretendeu-se, assim, estimular a discussão dos resultados obtidos, e contribuir com indicações relacionadas com a utilização do gás natural como combustível de motores térmicos.

2. EQUIPAMENTO

2.1. Equipamento previamente existente

O motor de explosão utilizado durante os ensaios é da marca Petter-Plint, modelo W1, mono-cilíndrico, a 4 tempos, 468 cm^3 de cilindrada, 85,0 mm de diâmetro e 82,5 mm de curso. A gama de velocidades de rotação utilizável é de 1100 a 2000 rpm. Dado tratar-se de um motor de demonstração, permite variar a razão de compressão entre 4:1 e 10:1, e ainda seleccionar e manter fixos o coeficiente de excesso de ar λ (entre valores demasiado pobres e

* O conteúdo deste artigo é da exclusiva responsabilidade dos autores.

demasiado ricos), e o avanço a ignição entre 0 e 33°. A ignição é por magneto. A câmara de combustão do motor é do tipo de válvulas laterais, como é ilustrado na figura seguinte.

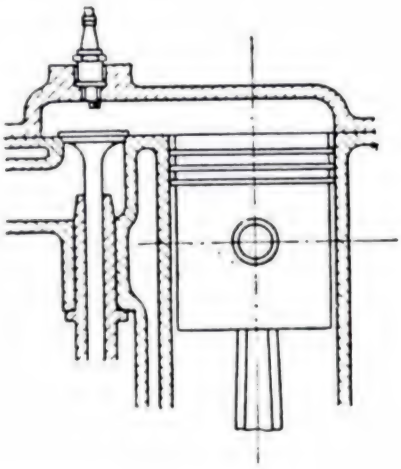


Figura 1 – Câmara de combustão de válvulas laterais. [1]

O banco de ensaios Plint TE15 é composto por um freio eléctrico e permite testar motores com potências até 3,7 kW e velocidades de rotação inferiores a 3600 rpm. A determinação das perdas mecânicas faz-se através do arrastamento do motor pelo motor eléctrico do freio, medindo-se a potência necessária ao arrastamento, na ausência de combustão no cilindro. O freio é também utilizado para o arranque do motor.

O sistema de refrigeração é independente do motor. É constituído por uma bomba, accionada através dum motor eléctrico autónomo, e por um pequeno tanque. Neste processa-se o arrefecimento da água, quer por convecção natural com o ar ambiente, quer por introdução de água da rede (~15 °C) e rejeição de parte da água de circulação. Regulando o caudal de água introduzida consegue-se controlar a temperatura de entrada no sistema de refrigeração do motor.

A instrumentação utilizada foi a seguinte:

- tanque de estabilização *(plenum)* com orifício calibrado para medição do caudal de ar;
- ampulheta de vidro equipada com espaçadores de arestas finas para medição do caudal de gasolina;
- máquina de análise de gases (marca SUN-MGA 1200) para medição das emissões de CO_2, CO, O_2, e hidrocarbonetos inqueimados, numa base seca. A partir dos valores das emissões, foi calculado o caudal de metano;
- cronómetro, conta-rotações, e contador de voltas (integrados no banco de ensaio) para medição da velocidade de rotação e caudais dos combustíveis;
- termómetro à saida do colector de escape;
- rotâmetro e termómetros para medição do caudal e das temperaturas de entrada e saída da água de refrigeração.

A temperatura, a pressão atmosférica, e a humidade relativa ambiente foram também medidas.

2.2. Adaptações efectuadas ao equipamento existente

Foi necessário adaptar o sistema de admissão de modo a tomar possível o funcionamento do motor com metano. Note-se que todas as transfomações

tiveram que ser forçosamente reversíveis para permitirem a operação só com gasolina, e também para não afectarem o desenrolar dos restantes trabalhos onde o motor estava a ser utilizado.

Para tomar possível a operação do motor com um combustível gasoso (metano) houve que adaptar a instalação com a montagem dos seguintes órgãos suplementares:

Garrafa de metano (1) - Reservatório comercial com uma capacidade suficiente para a realização dos ensaios e com uma pressão inicial de 240 bar. A ligação para o escoamento do gás até à câmara de mistura é feita através de condutas de borracha de qualidade adequada para o efeito.

Válvula redutora de pressão (2) - Instalada na saída da garrafa, esta válvula destina-se a regular a pressão a jusante. O valor adoptado para a pressão de saída da garrafa foi próximo de 2 bar, de modo a permitir que o gás vença as perdas de carga até à câmara de mistura (7), onde se mistura com o ar a pressão atmosférica.

Válvula de regulação "fina" de caudal (3) - Válvula que permite a regulação "fina" do caudal de combustível para a câmara de mistura, e, consequentemente, define o caudal de excesso de metano a queimar no queimador suplementar de excesso de metano (8).

Válvula de abertura/fecho da admissão de metano para o motor (4) - Válvula montada na conduta de gás a montante da entrada para a câmara de mistura metano/ar, que permite isolar o gás para o motor, sendo utilizada como meio de segurança suplementar. Quando esta válvula se encontra fechada todo o caudal de metano se escoa para (8), evitando-se assim a sobre-pressurização da linha.

Válvula de não-retorno de metano (5) - Instalada entre (3) e (4), destina-se a minorar os efeitos das pulsações do escoamento de admissão do motor, ou seja, evitar a propagação do efeito das condições muito pouco estáveis a jusante.

Válvula de não-retorno de ar (6) - Tal como (5), é também uma válvula que apenas permite o escoamento num dos sentidos (no caso, para o motor). É um dispositivo de segurança para evitar eventuais escoamentos de metano para a câmara de estagnação do ar, e a consequente formação de misturas combustíveis naquele depósito. A grande desvantagem associada a este órgão relaciona-se com a adicional perda de carga que introduz para a admissão do motor. Esta válvula de não-retorno de ar está montada na conduta de borracha do ar, a jusante do filtro e a montante da câmara de mistura com o metano (7).

Câmara de mistura metano/ar (7) - Pequeno reservatório cilíndrico cheio com palha de aço. Encontra-se montado a montante do carburador, e destina-se a promover a formação da mistura homogénea de ar e combustível gasoso (metano), a qual é seguidamente admitida para o motor. O ar e o metano são introduzidos tangencialmente junto da base da câmara, e perpendicularmente um ao outro. Atravessam todo o volume interior e saiem pelo topo, garantindo a homogenização da mistura à entrada para o motor. A conduta de saída liga a câmara de mistura directamente ao carburador do motor.

Queimador de excesso de metano (8) - Queimador que se destina essencialmente a evitar a libertação de metano para a atmosfera e a evitar sobrecargas na linha de aspiração do motor. Permite também uma indicação visual quanto ao funcionamento do motor.

Máquina de análise de gases (9) - Já anteriormente referida, destina-se à medição das emissões de poluentes, e à medição (indirecta) do caudal de metano.

Na figura seguinte ilustra-se um esquema simplificado do equipamento utilizado, estando os diversos índices em correspondência com os utilizados na descrição anterior.

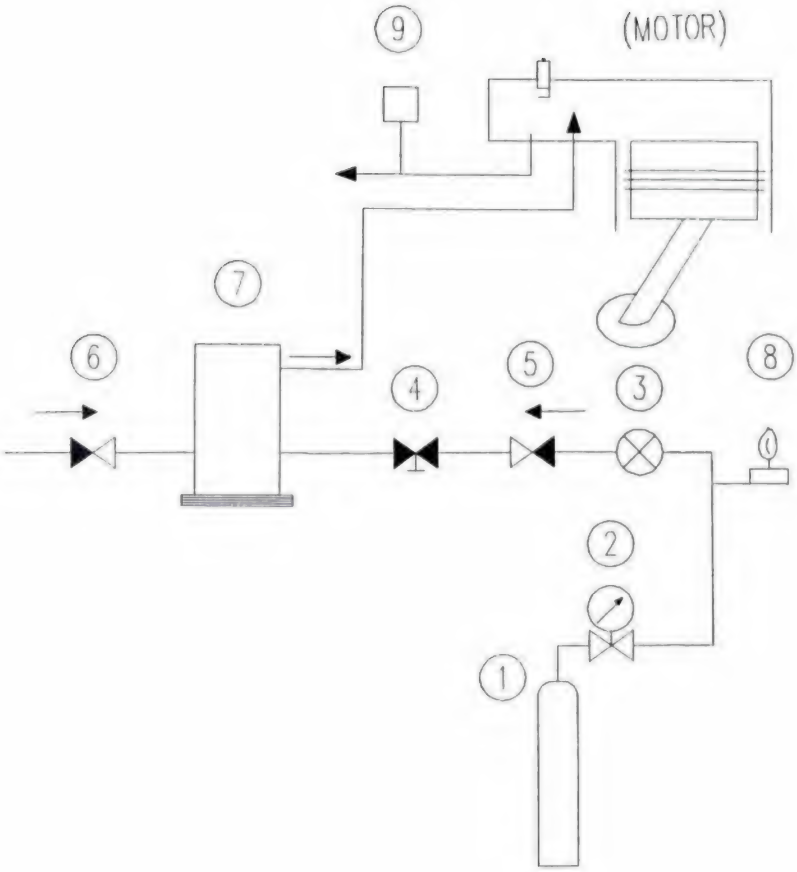


Figura 2 – Esquema simplificado da instalação experimental utilizada. [2]

Várias alternativas se colocaram para a alimentação do motor com metano. A solução adoptada revelou-se adequada e foi fácil de implementar sem recorrer a grandes meios. As suas principais desvantagens resultam das flutuações de pressão pouco amortecidas na linha de alimentação do metano, impedindo a medição directa do caudal deste. O recurso a uma câmara de estabilização de metano foi rejeitado devido a problemas de segurança. A aquisição de um *kit* de transformação foi rejeitada devido a factores económicos e à necessidade de rapidamente se converter o sistema de admissão à sua configuração *standard*.

O cálculo dos caudais de metano, pela forma como se processou, tem associados os erros inerentes às medições "*on line*" das emissões (de O_2, CO e CO_2) na máquina analisadora dos gases de escape. Tendo em atenção as fórmulas deduzidas para este cálculo [2] verifica-se que a maior sensibilidade é a do parâmetro das emissões de CO_2, que por seu turno era aquela que habitualmente verificava menores variações no decorrer dos ensaios, conseguindo-se sempre dois algarismos significativos.

3. MÉTODO EXPERIMENTAL

3.1. Condução dos ensaios

Embora cada tipo de ensaio necessite de alguns procedimentos específicos (§ 3.2), a condução dos diferentes ensaios seguiu um procedimento genérico comum. Referem-se aqui alguns dos pontos mais importantes, e que se podem tomar relevantes na interpretação dos resultados.

O arranque do motor foi sempre realizado com gasolina, uma vez que o arranque com metano exigiria um sistema que efectuasse o controlo rigoroso da quantidade de CH_4 injectada no cilindro na gama de velocidades de arranque do motor. Com a instalação disponível é extremamente difícil proporcionar uma mistura correcta de ar e metano, que fique dentro dos limites de inflamabilidade do metano, nessa gama de velocidades.

Todos os ensaios foram realizados com a água de refrigeração a uma temperatura de entrada na gama de 25 a 30°C. Os ensaios simulam, assim, o funcionamento do motor a frio. Estas são as condições onde serão de esperar maiores diferenças entre o comportamento do motor com gasolina e com metano. Note-se, no entanto, que entre a medição consecutiva de duas condições de funcionamento sempre se deixou o motor estabilizar. A estabilização era monitorizada a partir da evolução da temperatura de saída da água de refrigeração e da emissão de hidro-carbonetos inqueimados.

Os ensaios realizados a velocidade constante iniciavam-se com a borboleta completamente aberta (*WOT*), e carga máxima no freio compatível com a velocidade desejável. Após a estabilização do funcionamento do motor iniciavam-se as medições. Seguidamente fechava-se parcialmente a borboleta e aliviava-se a carga no freio de modo a manter a velocidade. Estabilizado o motor, iniciavam-se as medições. O ensaio prosseguia até a borboleta se encontrar na posição mínima, ou o comportamento do motor se revelar instável.

O caudal de ar era calculado a partir da perda de carga no orifício calibrado de entrada na câmara de *plenum. O* caudal de gasolina era obtido directamente a partir do tempo necessário para consumir um volume conhecido do líquido contido na ampulheta (genericamente, esses tempos eram da ordem dos 60 a 100 segundos). O caudal de metano era obtido indirectamente a partir do coeficiente de excesso de ar (λ), determinado a partir da composição do gás de escape.

As perdas mecânicas foram obtidas pelo método de arrastamento.

Embora a temperatura, pressão atmosférica, e humidade relativa fossem sempre determinadas (as primeiras são necessárias para a determinação do caudal de ar), nunca foi feita qualquer correcção dos valores de binário medido, visto as variações daquelas grandezas de ensaio para ensaio terem sido muito pequenas.

Foram ainda determinadas várias grandezas que não constam dos resultados aqui apresentados. Algumas destas serviram como parâmetros de controlo durante a execução do ensaio (p. e. temperatura de escape), e outras como auxiliar na interpretação dos resultados (p.e. calor perdido pelo escape e pelo sistema de refrigeração).

3.2. Ensaios preliminares

Foi realizado um conjunto de ensaios com os seguintes objectivos:

- determinar os parâmetros ideais de funcionamento do motor com gasolina e com metano;
- definir critérios de comparação do funcionamento do motor com um e com outro combustível.

Este conjunto de ensaios pode ser dividido em função dos objectivos particulares de cada tipo de ensaio, sendo também caracterizado por alguns procedimentos experimentais distintos:

- avaliação da influência da riqueza da mistura;
- avaliação da influência do avanço à ignição;
- avaliação da influência da razão de compressão;
- determinação das características do motor para posições fixas da borboleta do acelerador (ensaios a velocidade variável).

3.2.1. Ensaios para avaliação da influência da riqueza da mistura

Destinam-se a analisar o comportamento do motor em função da qualidade da mistura (razão ar/combustível *A/F*), numa gama variando entre misturas ricas ($\lambda<1$) e pobres ($\lambda>1$), bem como a determinar os valores de λ aos quais correspondem a máxima potência e o rendimento máximo (consumo mínimo).

A condução deste ensaio foi feita começando por se fixar o grau de compressão, a posição da borboleta, a velocidade de rotação e o ponto de ignição desejados. Seguidamente, operando na válvula que regula o jacto do carburador (caso da gasolina) ou aumentado o caudal de metano, alterava-se sucessivamente *A/F*, desde misturas muito pobres até muito ricas, ajustando a carga no freio de modo a manter a velocidade de rotação constante. Efectuava-se então a medição e o registo dos parâmetros do ensaio. Repetia-se o ensaio seguindo os procedimentos anteriores, mantendo constantes o grau de compressão e o avanço à ignição, e testando diferentes pares de velocidade de rotação e posição da borboleta.

O comportamento anormal do motor é facilmente diagnosticado com base na audição do som dos gases de escape nas condutas, nas vibrações dos vários órgãos do motor e nas leituras do analisador das emissões de gases.

3.2.2. Ensaios para avaliação da influência do avanço à ignição

Destinam-se a analisar o comportamento do motor em função do ponto ignição numa gama variando entre avanços francamente insuficientes até avanços demasiadamente grandes. Procura-se determinar os valores do avanço aos quais correspondem a máxima potência e o rendimento máximo (consumo mínimo).

A condução deste tipo de ensaio é semelhante à descrita no § 3.2.1. Neste caso o λ era fixado, e aumentava-se espaçadamente o avanço desde 0° até ao máximo (33°), ou até que ocorresse detonação, ajustando a carga do freio de modo a manter constantes os parâmetros inicialmente fixados. Repetia-se o ensaio seguindo os procedimentos anteriores, mantendo constantes o grau de compressão e a qualidade de mistura, e testando diferentes pares de velocidade de rotação e posição da borboleta.

3.2.3. Ensaios para avaliação da influência da razão de compressão

Os objectivos deste tipo de ensaios centram-se na análise da influência da razão de compressão no rendimento efectivo, na potência efectiva, na interpretação do efeito da mesma nos rendimentos qualitativo e volumétrico, e na sua influência na ocorrência de detonação.

Também neste caso a condução deste tipo de ensaio é semelhante à descrita no § 3.2.1. O λ e o avanço à ignição eram fixados, e aumentava-se espaçadamente a razão de compressão desde 4:1 até ao máximo 10:1, ou até que ocorresse detonação, ajustando a carga do freio de modo a manter constantes os parâmetros inicialmente fixados. Repetia-se o ensaio seguindo os procedimentos anteriores, mantendo constantes o avanço à ignição e a qualidade de mistura, e testando diferentes pares de velocidade de rotação e posição da borboleta.

O aparecimento da detonação é facilmente diagnosticado com base na audição do som do motor, e ainda nas vibrações de vários dos seus órgãos.

Como seria de esperar [3], na operação com o motor verificou-se uma maior tendência para a detonação na operação com gasolina. Para se operar com razão de compressão constante, e para evitar a detonação do motor, predo-

minantemente nos regimes de funcionamento a baixa rotação e elevada carga, houve que reduzir o avanço à ignição de 30°, na operação com metano, para 20° na operação com gasolina. Este aspecto é também aceitável uma vez que a velocidade de propagação da chama de metano é inferior à da gasolina, o que impõe que na operação com metano se tenha um avanço à ignição superior ao da gasolina.

3.2.4. Ensaios a velocidade variável

Este tipo de ensaios visam a caracterização do motor e assentam normalmente na determinação das curvas de variação da pressão média efectiva (*pme*) com a velocidade de rotação. Estas curvas características são determinadas para diversas posições da borboleta (1/4, 1/2, 3/4, completamente aberta, ou outra).

3.3. Testes para avaliação do desempenho do motor em função do combustível

Com base nos resultados obtidos com o conjunto de ensaios preliminares definiram-se os parâmetros de funcionamento do motor para a avaliação do seu desempenho no funcionamento com um e com o outro combustível. Este tipo de ensaios requerem procedimentos em tudo similares aos anteriormente descritos e decorreram a velocidade constante, com variação da abertura da borboleta desde completamente aberta até ao mínimo que permitia o funcionamento do motor.

Tanto quanto possível, os parâmetros de funcionamento definidos foram idênticos para ambos os combustíveis. A razão de compressão poderia ser mais elevada no caso do metano (a gasolina mostrou ser mais propensa a provocar a detonação), mas optou-se pelo máximo valor compatível com ambos. Apenas o valor do avanço à ignição foi diferente, como referido no § 3.2.3.

São os resultados obtidos com este tipo de testes que permitiram a elaboração dos vários de mapas de funcionamento do motor e que servem de suporte a tudo quanto se ilustra no ponto seguinte.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A figura 3 ilustra as evoluções do rendimento volumétrico η_{vol} em função da velocidade de rotação *N*, na operação do motor com gasolina e com metano, e com a borboleta completamente aberta (WOT). No mesmo gráfico, representam-se também os valores percentuais de acréscimo do rendimento volumétrico para os pontos de operação com gasolina relativamente aos do metano (% Gasolina/Metano).

Os valores obtidos são mais baixos que o habitual. Tal deve-se às alterações impostas na admissão para alimentar o motor com metano (§ 2.2), e ainda a um escape anormalmente longo montado neste motor. Os valores descrescentes de η_{vol} medidos em toda a gama de velocidades devem-se, provavelmente, à ocorrência de condições sónicas na válvula de admissão, uma vez que o motor foi projectado para a operação a baixas velocidades de rotação.

Os η_{vol} na operação com gasolina são sempre superiores aos relativos à operação com metano. Duas razões justificam tal comportamento:

- a vaporização da gasolina promove um abaixamento da temperatura da mistura, com o consequente aumento da massa específica do ar admitido;
- a pressão parcial do metano é superior à da gasolina numa mistura ar/combustível de λ igual [4], o que implica a admissão duma menor quantidade de ar nesta operação.

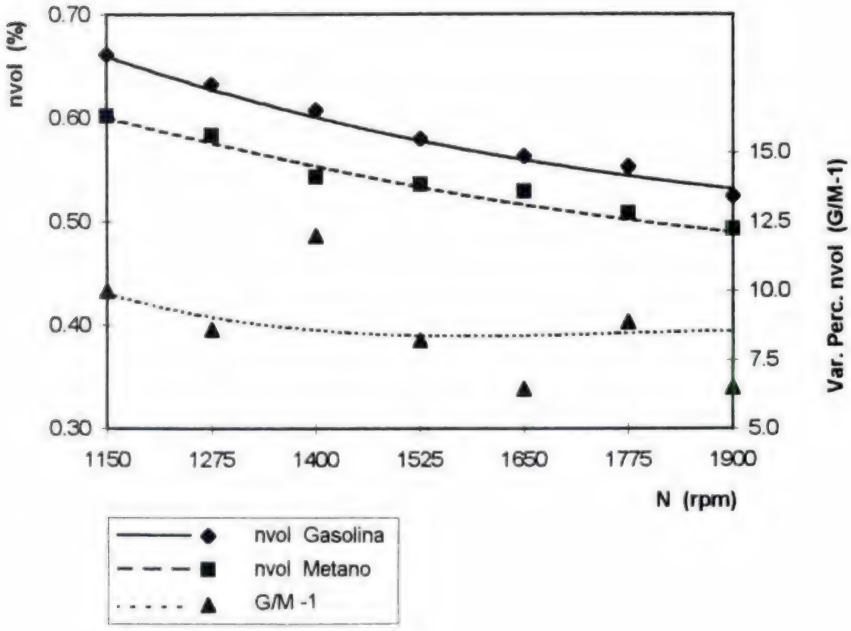


Figura 3 – Evolução do rendimento volumétrico à carga máxima

A figura 4 mostra as evoluções da potência efectiva à carga máxima (WOT), e a variação percentual desta na operação com gasolina relativamente à com metano.

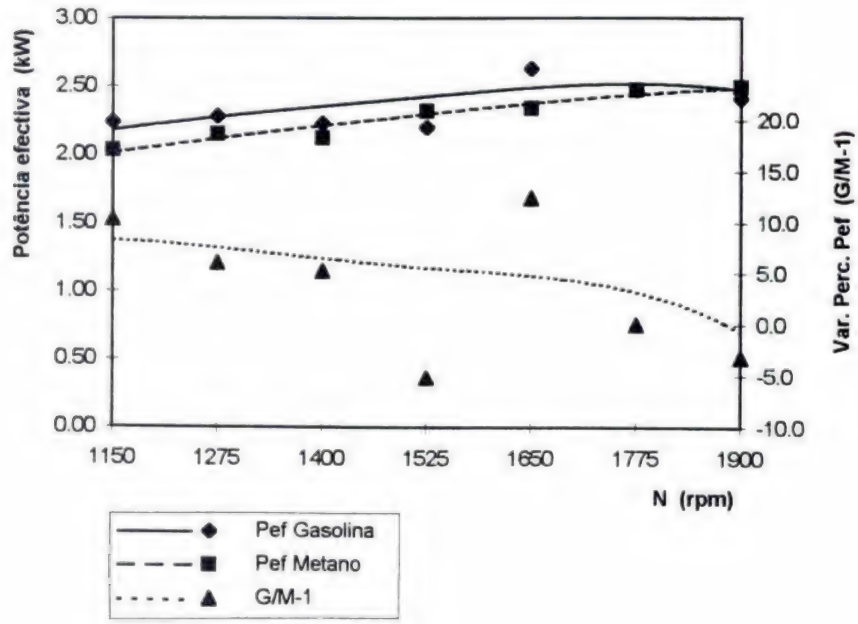


Figura 4 – Evolução da potência efectiva à carga máxima

A potência efectiva na operação com gasolina é, geralmente, superior à obtida na operação com metano. Tal deve-se ao melhor η_{vol} da primeira (fig. 3). No entanto, neste trabalho verificou-se que o melhor rendimento do motor na operação com metano (fig. 5) pode, pontualmente, inverter esta situação (como mostra a figura 4). De acordo com [5], a redução do valor da máxima potência disponível na exploração dos motores de explosão com gás pode ir de 5 a 30 por cento. Contudo, estas reduções de potência,

dependendo do tipo de utilização dada ao motor, poderão ser minimizadas se for possível optimizar a operação para o gás. Ainda de acordo com a mesma referência, a redução de potência é compensada por um aumento até 15% do rendimento do motor, essencialmente pelo facto de se passar a ter combustões mais eficientes.

Os mapas apresentados seguidamente relativos a quatro parâmetros $\varnothing$ (rendimento efectivo do motor η_{ef} e emissão de três poluentes) mostram as variações percentuais relativas a $\varnothing$ obtidas como:

$$\text{Resultado relativo a } \varnothing = \frac{\varnothing_{metano} - \varnothing_{gasolina}}{\varnothing_{gasolina}} 100\%$$

Os resultados são apresentados no plano (*N*,*pme*), nas gamas de valores de *N* e de *pme* comuns às operações com um e com o outro combustível. As zonas tracejadas nos vários mapas, correspondentes a baixos valores de *pme*, são aquelas onde não se obtiveram valores para a operação com (pelo menos) um dos combustíveis devido a problema de estabilidade no funcionamento do motor.

No mapa da figura 5 ilustram-se as variações percentuais de rendimento efectivo η_{ef}.

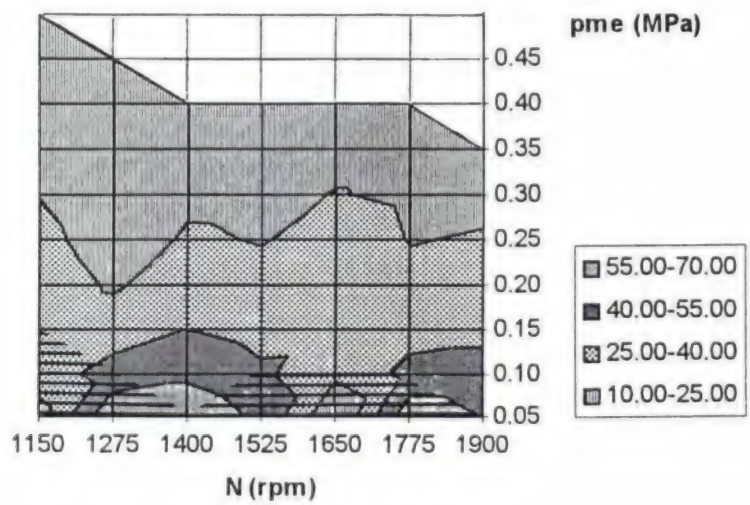


Figura 5 – Mapa comparativo do rendimento efectivo η_{ef}

As variações percentuais do rendimento efectivo são praticamente independentes de *N* e variam essencialmente com *pme*. Verifica-se que para iguais condições *(N, pme)* o rendimento efectivo da operação com metano é sempre superior ao da operação com gasolina, sendo esta vantagem mais notória para regimes de baixa carga. Quanto menor é a carga maior é a diluição da mistura. A combustão de um hidro-carboneto "pequeno" como o metano (CH_4), de maior difusidade mássica e proporcionando uma maior percentagem de radicais H^+, é seguramente menos penalizada com o aumento da diluição do que hidro-carbonetos "grandes", como os que constituem a gasolina. No entanto, é de esperar que na operação a carga reduzida, uma vez que se promove o aumento da fracção de gás residual no cilindro, a vaporização da gasolina seja mais fácil, o que, portanto, atenua o aumento do rendimento da operação com metano.

A figura 6 ilustra o mapa de variações percentuais das emissões de hidro-carbonetos inqueimados HC. Os resultados mostram que as emissões de HC na operação com metano são genericamente inferiores às relativas à

com gasolina. Porém, esta vantagem do metano atenua-se à medida que *N* e *pme* aumentam. Verifica-se mesmo que para *N* igual a 1900 rpm ocorre uma inversão, tomando-se comparativamente maiores as emissões de HC na operação com metano. Estes factos resultam de:

i) a massa de metano contida no volume de *quenching* ser menor do que a de gasolina [4],
ii) a maior difusividade do metano, o que torna mais rápida a sua difusão da zona de *quenching* para o seio dos produtos da combustão, facilitando a sua oxidação. Note-se, no entanto, que a temperaturas relativamente baixas o metano oferece mais resistência à oxidação do que a gasolina.

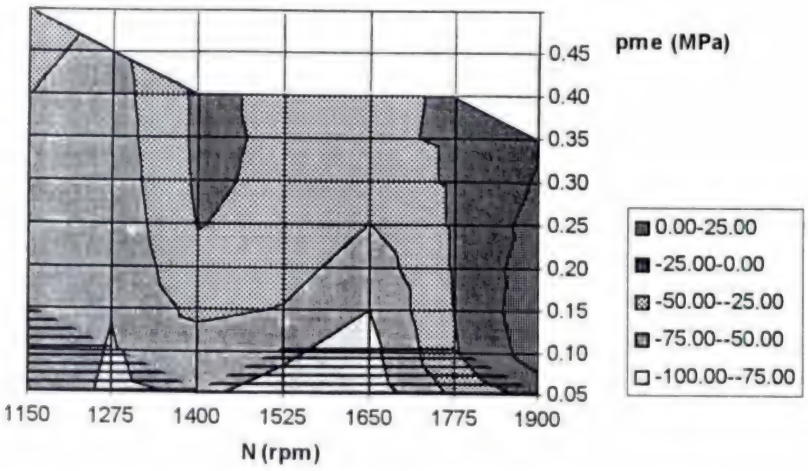


Figura 6 – Mapa comparativo da emissão de hidro-carbonetos inqueimados HC

A figura 7 mostra o mapa de variações percentuais das emissões de monóxido de carbono CO. As emissões de CO dependem fortemente da qualidade da mistura. Durante a realização dos ensaios ocorreram flutuações no valor de λ. Embora estas fossem muito pequenas, a apresentação dos resultados sob a forma de diferenças pode acentuar de forma apreciável os erros relativos. Assim, este mapa deve ser interpretado com alguma prudência.

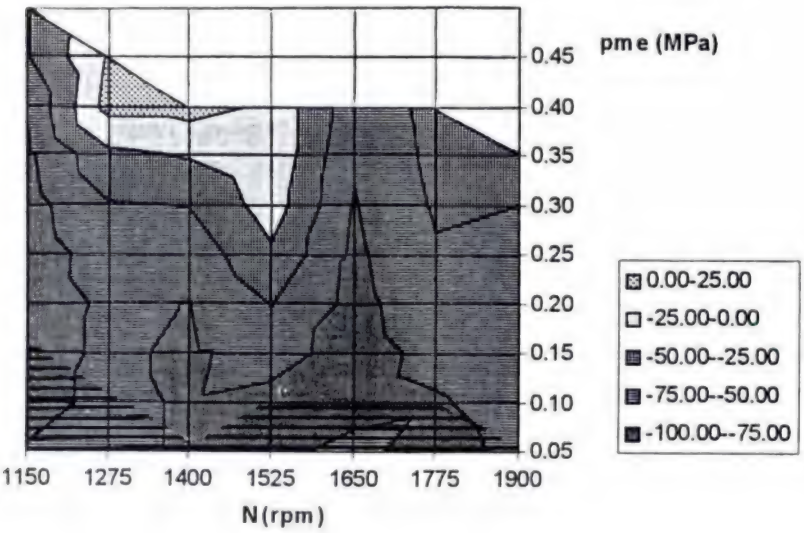


Figura 7 – Mapa comparativo da emissão de monóxido de carbono CO

Uma característica comum a ambas as operações (metano e gasolina) é a diminuição das emissões de CO à medida que a carga *(pme)* aumenta [2]. Da observação dos resultados anteriores constata-se ainda que o metano oferece maiores vantagens a baixos regimes, verificando-se contudo que esta vantagem se atenua com o aumento da carga do motor. Tal como explicado anteriormente, verifica-se aqui uma vez mais que a superioridade da combustão com metano se acentua com a redução da carga *(pme)*.

Um único ponto revelou desvantagem da operação com metano (1275 rpm e 0,40 MPa), onde se produziu um teor de monóxido de carbono 8,5% superior ao respeitante à gasolina. Da observação do restante mapa de emissões de CO admite-se porém que este resultado possa eventualmente reflectir uma má leitura na máquina.

A figura 8 mostra o mapa de variações percentuais das emissões de dióxido de carbono CO_2. São resultados coerentes com os previstos numa simples análise teórica: a combustão estequiométrica de metano produz menos 15% de CO_2 do que a de gasolina (considerada como sendo C_8H_{16}), por unidade de energia libertada [2]. De acordo com [6], a realização de vários testes experimentais permitiu concluir que as emissões de dióxido de carbono nos motores a gás são, em média, inferiores em cerca de 30% às dos motores a gasolina.

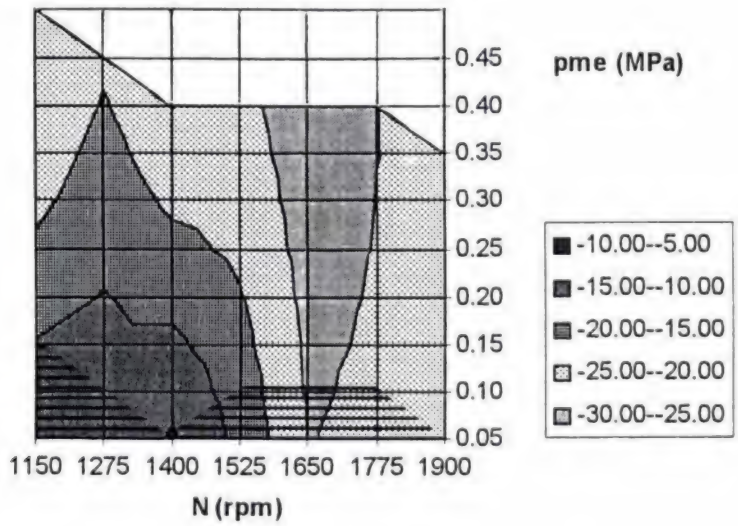


Figura 8 – Mapa comparativo da emissão de dióxido de carbono CO_2

A operação com metano produz em todos os regimes de funcionamento, emissões de CO_2 sempre menores que as relativas à com gasolina, aumentando esta vantagem com o aumento de *N* e de *pme*.

5. CONCLUSÕES

O motor testado tem um comportamento que tipifica razoavelmente um motor de explosão. No entanto a gama de operação do motor é relativamente estreita (1150rpm<*N*<1900 rpm, e 0,05 MPa<*pme*<0,5 MPa), tendo sido difícil a operação a baixas velocidades de rotação.

Nas condições em que se processou a operação do motor verificou-se serem a potência e o binário efectivos essencialmente comandados pelas variações dos rendimentos volumétrico e efectivo.

Apesar de não desejadas, ocorreram algumas flutuações da qualidade da mistura e do rendimento mecânico que podem, em alguns pontos, ter afectado os valores dos parâmetros efectivos anteriormente referidos.

Para os regimes de funcionamento ensaiados verificou-se que, nas mesmas condições (*N*, *pme*), o rendimento volumétrico na operação com gasolina foi sempre superior ao relativo à com metano. Por outro lado, em ambas as operações verificou-se ser o rendimento efectivo praticamente independente da velocidade de rotação, sendo só função da carga. Os rendimentos efectivos na operação com metano foram sempre superiores aos relativos à com gasolina, acentuando-se esta diferença nos regimes de carga reduzida. Esta vantagem do metano situou-se entre um máximo de cerca de 50% na operação com um regime de 1400 rpm e 0,10 MPa de *pme*, e um mínimo de aproximadamente 14% às 1275 rpm e *pme* igual a 0,40 MPa.

O presente trabalho não permitiu a verificação de uma das desvantagens que habitualmente se apontam para a conversão de motores de explosão para gás natural: as resultantes reduções da potência e do binário efectivos na operação com gás. Em face dos elevados valores de rendimento efectivo na operação com gás, a operação com metano chegou a igualar ou mesmo ultrapassar, pontualmente, os valores de binário e potência efectiva obtidos na operação com gasolina.

As emissões de poluentes são, genericamente, menores na operação com metano, acentuando-se a diferença com a redução da carga.

Os teores de hidro-carbonetos inqueimados são, normalmente, mais baixos na operação com metano, atenuando-se esta diferença com os aumentos da velocidade de rotação e da carga do motor. Constatou-se mesmo a ocorrência duma inversão à velocidade de 1900 rpm, para a qual a operação com metano promoveu teores de HC sempre superiores (máx. 17%) aos relativos a com gasolina. A maior vantagem do metano ocorreu para o regime de 1650 rpm com *pme* de 0,15 MPa onde se registou um teor de emissõss de hidro-carbonetos não queimados 75% inferior ao relativo à com gasolina.

Em ambas as operações se verificou que as emissões de monóxido de carbono diminuiam quando se aumentava a carga. Genericamente, a operação com metano produziu menores emissões de CO, sendo esta vantagem mais notória nos regimes de cargas e velocidades de rotação reduzidas, onde se chegou mesmo a atingir níveis 80% inferiores aos relativos à operação com gasolina.

As emissões de dióxido de carbono foram sempre inferiores na operação com metano. Estima-se um valor médio de redução das emissões de dióxido de carbono, da operação com gás relativamente à com gasolina, de cerca de 20%. Vista a uma escala global, esta redução inequívoca das emissões de dióxido de carbono na operação dos motores com metano, pode ser significativa duma potencial contribuição para a minimização do fenómeno de aquecimento global.

Em síntese, introduzem-se dois breves comentários:

i) pelas várias razões apontadas, a utilização do gás natural como combustível de motores de veículos deverá ser encarada como complemento em domínios que se revelem vantajosos e jamais como combustível de substituição para os tradicionais combustíveis líquidos;
ii) o estudo aqui efectuado, não se caracterizando pelo rigor e exactidão exaustivos, constitui uma simples abordagem ao tema da avaliação do gás natural (metano) como combustível alternativo à gasolina, e será de

bom grado ampliado e/ou aprofundado, se as decisões e as circunstâncias vierem a revelar que este tema é um entre vários que poderão vir a contribuir para uma maior produtividade da energia em Portugal.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Eng. Raúl Vergueiro e à firma Lusilectra Lda. a cedência do equipamento necessário à medição da emissão de gases. Agradece-se ainda aos técnicos de laboratório, Srs. Edmundo Vaz e José Ponciano, bem como aos técnicos das oficinas da Secção de Termodinâmica Aplicada do IST na pessoa do Sr. Vasco Fred, o paciente e cuidado trabalho na execução das transfomações exigidas pelo motor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Mendes Lopes, J.M.C., MOTORES TÉRMICOS - Colectânea de cópias de acetatos, I.S.T., Lisboa, 1995.

[2] Torneiro, J.P. Filipe, CARACTERIZAÇÃO DE UM MOTOR DE EXPLOSÃO ALIMENTADO A METANO - Estudo Comparativo do Desempenho do Motor Alimentado a Metano ou Gasolina, Projecto de Termodinâmica Aplicada, I.S.T., Lisboa, 1995.

[3] Maly, R. e Zieggler, G. THERMAL COMBUSTION MODELING - Theoretical and Experimental Investigation of The Knocking Process, SAE Paper N. 824847, 1982.

[4] Heywood, John B., INTERNAL COMBUSTION ENGINE FUNDAMENTALS, McGraw - Hill B. Co., Singapore, 1988.

[5] INTERNATIONAL CONFERENCE & EXHIBITION ON NATURAL GAS VEHICLES, Vols. I, II e III, International Association for Natural Gas Vehicles (Inc.), Toronto, 1994.

[6] Peebles, Malcolm W.H., NATURAL GAS FUNDAMENTALS, Shell International Gas Limited, U.K., 1992.

TÉCNICA
Revista de Engenharia
Publicação trimestral
de investigação científica e desenvolvimento

UMA REVISTA DE ENGENHARIA

A Técnica, Revista de Engenharia, tal como a Associação dos Estudos do Instituto Superior Técnico, onde se integra, acompanha, desde os primeiros tempos, a vida do Instituto.

Das suas páginas constam artigos científicos e técnicos de flagrante actualidade quantas vezes pioneiros, entre nós, de ciência nova e de novas tecnologias.

A revista tem uma periodicidade de quatro números por ano e está estruturada em perfeita adequação à intensa actividade de investigação e desenvolvimento que hoje se processa no campus de Instituto Superior Técnico.

Compreende, assim artigos convidados, comunicações científicas originais e notícia sucintas e rigorosas sobre ciência, tecnologia e desenvolvimento.

Trata-se, pois, de uma revista científica de nível o que não impede a colaboração de estudantes desde que devidamente credenciados por investigadores qualificados e de reconhecido mérito.

Torne-se assinante da Técnica.

Para mais informações contacte-nos pelo telefone 351-1-848 10 18 / 841 73 62 ou fax 351-1-847 40 14 / 849 92 42
ou escreva-nos para: Técnica, Revista de Engenharia, Av. Rovisco Pais n.° 1, P-1098–Lisboa CODEX
Publicidade: DOSSIER – Comunicação e Imagem, Lda., R. Eça de Queirós, 18 - 2.° 1000 Lisboa
Telefs. (01) 355 92 94/5 - 353 73 21 – Fax/Telef. (01) 353 73 12

THE THREE GENERATIONS OF LITHIUM-POLYMER ELECTROLYTES FOR BATTERY APPLICATION

M.J.C. Plancha, C.M. Rangel, C.A.C. Sequeira and F.D.S. Marquis*

Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial - INETI,
Dept. de Materiais, Paço do Lumiar, 22, 1699 Lisboa Codex, Portugal
*College of Chemical, Physical and Materials Science and Eng., South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, SD 57701, USA.

Original submetido em: 5 de Julho de 1996

ABSTRACT

Polymer electrolytes for lithium batteries have been under development for 20 years and have passed through three generations. The polyethylene oxide-lithium salt complexes were the first generation beginning in 1973 at the University of Sussex; the second generation were the polymer electrolytes in which efforts were applied to reducing the crystallisation temperature of PEO (and other polymers); the third generation of polymer electrolytes is variously described as containing a plasticizer, as solvent dilute, or as gelled. These third generation materials may be amorphous to temperatures as low as -40C and, at ambient temperatures, have conductivity (of the order of 10^{-3} S/cm) approaching that of liquid electrolytes. As yet they have not appeared in commercial rechargeable batteries. We set out targets for polymer electrolytes which will improve chances of commercial acceptance. These are the conductivity, processibility, true solid-like character, and electrochemically stable window, among others.

THE HISTORY OF LITHIUM-POLYMER ELECTROLYTES

The story of polymer electrolytes for lithium batteries begins in 1973 with work by Fenton, Parker and Wright (1) at the University of Sussex where they observed unusually high ionic conductivity in polyethylene oxide-lithium salt complexes at temperatures approaching 100 C. But it was Michel Armand (2) at the University of Grenoble who, in the 1978-79 period, emphasised the importance of this observation to battery technology and then introduced important procedures to the art and added many important papers to the literature.

Subsequently, two separate groups – a Harwell-lead consortium of companies and a Hydro Quebec-Elf Aquitaine joint venture – set out to explore commercial possibilities of polymer electrolytes for lithium batteries (3).

The first model to explain conductivity in polymer electrolytes emphasised the helical structure of PEO (polyethylene oxide) and postulated the lithium cation either moved along the axis of the helix or along the outside of the strand. This model is based on ordered structures. It is not able to explain why the conductivity of PEO (if the molecular weight is >100,000 where the material can be described as solid) sharply changes at temperatures around 65 C.

By the mid 1980's it was recognised that most of the conduction occurred in the amorphous phase and the reason for low conductivity below about 65 C was the crystallinity of the polymer. Subsequently, efforts were applied to reducing the crystallisation temperature of PEO (and other polymers). One method is to attach PEO strands to a polymer backbone. The relatively short strands are unable to self-align into a crystalline structure, thus extending the amorphous phase to much lower temperatures. Another is to form copolymers which are not able to self-align as readily as the PEO strands. These types of material are what Scrosati (4) calls the second generation of polymer electrolytes.

Several solid polymer electrolytes based on copolymers have been prepared and complexed with lithium salts to prepare polymer electrolytes for lithium batteries. Incorporation of 10 to 20% propylene oxide units in poly(ethylene oxide) depresses considerably the crystallinity of the materials. In addition to copolymers containing polyether grafted polyether, polysiloxane and polyphosphazene backbones have been used. Polymer electrolytes prepared with lithium salts and

copolymers have shown enhanced transport properties at room temperature but conductivities and transport numbers are not sufficiently high to be attractive for practical lithium batteries (5).

By the mid 1980's measurements of transport numbers were showing that the anion was, at least, carrying a current equal to the cation and, in many measurements, a current greater than what me cation carried. This observation made the original conductivity model inadequate. Molecular models now have been developed which describe motion of the ions based on oscillations of the polymer strands. And the free volume model for conductivity has been adopted from polymer chemistry.

It is found that simple salts, such as LiCl do not provide high conductivity. In general, the more bulky the anion, the higher the conductivity. For example, Armand (6) synthesized $Li[(CF_3SO_2)_2N]$ and observed high conductivity when dissolved in PEO-type polymer electrolytes. The high conductivity is the result of a more "elasticised" polymer.

Such an approach has also shown promise in lithium bis(trifluoro methyl sulfonyl) amide, $LiN(CF_3SO_2)_2$ which has shown increased amorphous phase in the polymer electrolyte and increased conductivity. Therefore, new salts with perfluorosulfonate-polyether based single ion conductors have been synthesised. These salts have been incorporated into solvating polymers by co-crosslinking or co-polymerization. The resulting polymer electrolytes have been characterised by conductivity measurements. The room temperature conductivities of lithium polymer electrolytes are slightly better than the conventional polymer electrolytes but they are not high enough for practical applications in lithium batteries.

Both the lithium cation and the anion of the dissolved lithium salt are mobile in the amorphous polymer. As a result, polarisation effects are encountered in battery operation. Efforts (for example, Schriver at NWU) to prepare single mobile ion electrolytes by building the anion into the polymer structure have not produced practical electrolytes. In all cases the conductivity has been at least an order of magnitude less than the comparable double ion structure.

The concentration of salt in the polymer matrix is higher than generally found in liquid solvents. It happens that the oxygen atom in the ethylene oxide backbone of PEO has just the right charge density to solvate the lithium cation but not to bind the lithium so tightly that it is immobile. On average, the lithium cation interacts with four ether oxygens of the polymer (but not two sequential ether oxygens in the same strand). It has been observed that ion pairing sets in when the salt concentration exceeds a ratio of 1 cation to 8 ether oxygens of the PEO strands and that ion aggregates appear at concentrations of 1 cation to 4 ether oxygens. A maximum in conductivity occurs at concentrations around 1 cation to 8 ether oxygens.

The third generation of polymer electrolytes is variously described as containing a plasticizer, as solvent dilute, or as gelled (7, 8). Each of these terms may have had precise meaning at one time or another, but recently the terms seem to be used indiscriminately.

Towards the end of the decade, a group at the Engineering Research Laboratories in Denmark, with a group at the Mead Paper Company in the US (in what came to be known as the MHB venture) developed a solvent diluted electrolyte which was polymerised in-situ (9). This electrolyte is characterised by the incorporation of a liquid material, such as propylene carbonate, into a polymer matrix which is formed by cross-linking a monomer after mixing in the liquid phase.

Following this, many methods and recipes for solvent-doped or "elasti-

cised" polymer electrolytes have been developed. (Frequently the term plasticized means that the salt anion is an organic which, when dissolved, makes the polymer soft. But it is also used to refer to softening the polymer by addition of an organic liquid. In other ways, the hardness of the electrolyte depends on the molecular size and constitution of the polymer, so either dry or solvent-doped polymer electrolytes can range from essentially liquid-like to hard brittle materials.) Surprisingly, up to about 80% by weight of some solvents can be incorporated into the matrix yet it has the appearance of a dry solid. Other compositions have a texture more that of a gel. Even in the solid matrix, if the solvent has liquid-like character this can be observed by thermogravimetric analysis. The principal feature of the analysis is evaporation of the solvent at the temperature of the bulk liquid. Some compositions, however, do not undergo mass loss until temperatures are reached well above the boiling point of the bulk solvent. These compositions appear to be truly homogeneous "dry" materials.

Examples of plasticized polymer electrolyte systems with room temperature conductivities in the range of 2-6x10^{-3} S cm^{-1} are the poly(acrylonitrile), poly(vinylpyrrolidone), polymethyl methacrylate, and poly(ethylene glycol diacrylate) plasticized with a low molecular weight solvent such as propylene carbonate, gama butyrolactone or a low molecular weight polymer such as tetraethylene glycol dimethyl ether (10-12). The main disadvantage with these polymer electrolytes is the reactivity of these solvents plasticized with lithium metal accompanied by passivation and short cycle-life in lithium batteries.

Recently, for room temperature operation, molten salts containing 1-butylpyridinium chloride or bromide and aluminum chloride have been used for high conductivity polymer electrolytes. Poly(l-butyl-4-vinyl pyridinium) halides are known to be compatible with the molten salts to form polymer electrolytes. The addition of a small amount of the polypyridinium salts provides viscoelastic rubbery property to the polymer electrolytes. The conductivity of the polymer electrolyte is influenced by the electrolyte composition and temperature (13). However, these electrolytes containing chloride ions and particularly aluminum chloride, are too corrosive and their processability into thin film form with mechanical stability is to be shown. They are not compatible with lithium anode and possibly with many potential cathode materials to be useful for practical battery operation.

Very recently, three superacid salts of lithium of the type

$C_n F_{2n+1} SO_3 Li$ where n=4, 8, and 10 have been prepared and used in the preparation of solid polymer electrolytes with polyethylene oxide (14). The room temperature conductivity data show that these electrolytes have low conductivities. The conductivity of the polymer electrolytes, PEO/$C_4F_9SO_3Li$ is 10^{-6} S/cm, PEO/$C_8F_{17}SO_3Li$ is $<10^{-6}$ S/cm where as the conductivity of PEO/$C_{10}F_{21}SO_3Li$ is 10^{-6} S/cm. These conductivity values are much lower than the conductivity of the polymer electrolyte with lithium bis(trifluoromethylsulfonyl) amide, PEO/$(CF_3SO_2)_2NLi$ with a conductivity value of 10^{-5} S/cm.

The increasing need for novel electrolytes that have high conductivity, high lithium ion transport number, wide electrochemical stability window, and are suitable for lithium batteries with safe operation (6), is stimulating the third generation materials to be amorphous to temperatures as low as -40C and have conductivity at ambient temperatures of the order of 10^{-3} S cm^{-1} approaching that of liquid electrolytes.

Chiang et al. (15) focused their attention on this need, and they produced interpenetrating polymer net-

works (IPNs) which maintained good electrical conductivity at room temperature. They synthesized IPNs from PEO-$LiClO_4$ complexes and epoxy (diglycidylether of bisphenol A) crosslinked with poly(propylene oxide)(PPO) triamine (Texaco Jeffamine T-403). The IPNs could be described as epoxy-PPO networks plasticized with PEG400. In this system, the epoxy and Jeffamine intercombined to form a solid matrix upon which PEO was held in an amorphous conformation at room temperature, as well as at higher temperatures. An analogy which could be drawn to this system is a wet sponge in which the water corresponded to the conducting liquid PEO-$LiClO_4$ complex and the sponge corresponded to the solid support matrix of the epoxy and Jeffamine. Qualitatively, it was found that the introduction of the epoxy increased the mechanical properties of the polymer but decreased its conductive properties. When the epoxy content was greater than 20 weight percent (w/o) (of the total mixture of $LiClO_4$ and PEO) free-standing films were formed and their mechanical properties improved as the percentage of epoxy increased. The conductivity, however, of the IPN remained nearly constant from pure PEO-$LiClO_4$ to about 30 w/o epoxy. A further increase in epoxy led to an exponential decrease in the conductivity.

Chiang et al. (15) therefore, concluded from their results that improved properties for a solid electrolyte were obtained with a composition of about 30 w/o epoxy in the IPN system.

We have extended the work of Chiang et al, and had three main aims (16)

1) First, to prepare "solid" membrane films which could be properly tested. This involved finding suitable proportions of epoxy and Jeffamine which would form a suitable solid material.

2) Second, it was intended to investigate how the conductivity was affected by varying the amounts of $LiClO_4$ present in the system.

3) The final, third aim of our study was to investigate the preparation and conductivity of an IPN in which the epoxy was cross-linked with tetraethylenepentamine rather than poly(propylene oxide) triamine.

This study showed that thin films (≈0.015 cm) of the IPNs could be prepared by a simple process, and these had good mechanical and conductive properties, two of the essentials requirements of a solid polymer electrolyte. The ease of preparation and handling of these films would be vital if the IPNs fulfilled their commercial potential, the large scale mixing of the different materials to form solutions of the IPNs would not cause the chemical engineer too many problems, and the casting of the films should also be quite simple on a large scale.

Moreover, the work showed that the conductivity of the IPN system was dependent on the concentration of salt present. It showed that the conductivity did not increase directly with increasing amounts of added salt, because at very high salt concentrations neutral ion pairs were probably formed. Instead, it was shown that there seemed to be an optimum value for the conductivity which appeared at quite a low salt concentration where lithium perchlorate probably existed as mobile, free ions. The maxlmum conductivity, 6.1×10^{-5} S cm^{-1}, was obtained with $(LiClO_4):(PEO)_{88}$. The maxlmum and minimum conductivities at room temperature were obtained with $(LiClO_4):(PEO)_{88}$, 6.1×10^{-5} S cm^{-1} and $(LiClO_4):(PEO)_{176}$, 1.8×10^{-6} S cm^{-1}, respectively.

The compositions and conductivities of some solid polymer electrolyte films and some plasticized films that have been synthesized and characterised very recently are listed in Table I.

Table I

The compositions and room temperature conductivities of some solid polymer electrolyte and plasticized polymer films.

Lithium salt PEO complex	Li/O ratio	Room Temp. Conductivity S cm^{-1}
$[CF_3(CF_2)_3\ SO_2]NLiPEO$	1:6	5.31×10^{-6}
$[CF_3(CF_2)_3\ SO_2]NLiPEO$	1:8	3.24×10^{-6}
$[CF_3(CF_2)_3\ SO_2]NLiPEO$	1:16	3.0×10^{-6}
$[CF_3(CF_2)_3\ SO_2]NLiPEO$	1:24	4.77×10^{-6}
Lithium salt Plasticized with PAN	—	1.02×10^{-4}
$[CF_3(CF_2)_3\ SO_2NLi_2]PEO$	1:8	1.79×10^{-6}
$[CF_3(CF_2)_3\ SO_2NLi_2]PEO$	1:24	3.03×10^{-6}
Dilithium salt Plasticized witlh PAN	—	2.99×10^{-5}
Dilithiurn salt Plasticized with PAN	—	8.06×10^{-5}
$C_4F_9SO_2NLi_2$ Plasticized with PAN	—	1.1×10^{-5}
$C_8F_{17}SO_2NLi_2$:PEO	1:8	4.24×10^{-7}
$C_8F_{17}SO_2NLi_2$:PEO	1:16	3.19×10^{-7}
$C_8F_{17}SO_2NLi_2$:PEO	1:16	4.37×10^{-7}
$LiClO_4$:PEO in IPN	1:88	6.10×10^{-5}
$LiClO_4$:PEO in IPN	1:176	1.80×10^{-6}

PAN = Polyacrylonitrile

THE MEANING OF POLYMER ELECTROLYTE

Rather confusingly, the term polymer electrolyte is widely used in fuel cell technology to refer to ion-selective polymers which, when hydrated, have two intermingled phases-the solid polymer region and a liquid-like region. An example is Dupont's Nafion™ which is a fluorinated polymer with sulfonate end groups. The liquid phase is sometimes described as composed of micelles which are channel-like regions filled with liquid. Electrostatic interactions of the ionic structures in the polymer backbone with the mobile charges in water help to form these regions which contain a liquid phase. There have been attempts to develop similar single ion conductive polymers for lithium batteries but, as yet, all materials reported have a resistivity which is too high for practical use.

Finally, the term polymer electrolyte is also used for compositions which are essentially liquids adsorbed into a polymer. An example is found in the Bellcore system (17). US patent 5,296,318 describes a copolymer of hexafluoride propylene and vinylidene 1,2-difluoride which is wetted with a liquid electrolyte.

The term *polymer electrolyte,* therefore, has come to mean any polymer-based structure with significant ionic conductivity. Those are found in a wide range of solid-like character. The solid character of polymers is, in general, related to the molecular weight of the polymer. Low molecular weight polymers are often liquids so the range can be from liquids to very hard and rigid materials. Some polymers can organise at the molecular level in such a fashion as to be crystalline. Since conductivity comes about through molecular motion in the structure, crystalline

polymers have low conductivity and are not interesting for batteries. The *"dry" polymer electrolyte is* a single phase, non-crystalline material containing dissolved salt and the ions of the salt are mobile. *Plasticized polymers,* a term from the polymer industry, are single phase and contain organic additives which have the effect of softening the polymer. These, in general, have higher conductivity than the dry polymers because of greater freedom for molecular motion. *Solvent-doped polymer electrolytes* may be either single phase or two phase depending on the degree of doping and the molecular make-up. The two phase materials are frequently described as *gels*. Both anions and cations are mobile at the molecular level. Finally, *ion selecfive, two phase polymer electrolytes* are in use in fuel cell technology but have not found application with lithium batteries.

WHY POLYMER ELECTROLYTES?

A variety of reasons have been advanced for using polymer electrolytes in lithium batteries. These include increased safety, higher specific energy and energy density, greater flexibility in packaging, and lower cost. As yet, however, polymer electrolytes are in commercial use only in primary lithium batteries and have not entered the market for rechargeable batteries.

The argument to support increased safety is more historical than real. The early problems with rechargeable cells using lithium metal, lead to considerable weight given to coating the metal electrode with a polymer to protect it from rapid reaction. The introduction of the lithium-carbon electrode, however, has reduced the safety concern related to the build up of very reactive lithium metal deposits during cycling. Nonetheless, the polymer electrolyte does provide reduced probability of shorting and less combustible materials compared to the liquid electrolyte cell. These still have an important bearing on the safety of the lithium cell.

The reason for higher specific energy and energy density is less mass and less volume; however, this can only be realised if the polymer electrolyte is thinner than the currently used separators in liquid electrolyte cells. This means that the polymer must be less than 50 micrometers in thickness. Only with polymer electrolytes formed in-situ have practical procedures been demonstrated for building cells with very thin electrolytes.

All commercial rechargeable batteries and most primary batteries are marketed in rigid packages. A flexible, prismatic package offers considerable, and potentially important, opportunities. This is the promise of polymer electrolytes, however, yet to be demonstrated are long-lived multilayer flexible packages offering a wide variety of designs. One possibility of the "dry" polymer electrolytes is practical bipolar constructions.

A feature of the polymer electrolyte technology is laminar construction. This introduces the concept of cell construction by thin film or coating processes adopted from technologies such as found in the paper industry. The vision is of large scale, automated equipment able to carry out continuously the operations of laminar construction, cut, and package in high volume. Such processing appears to provide major cost savings over present cell and battery assembly operations.

REQUIREMENTS OF POLYMER ELECTROLYTES

If the promises of polymer electrolytes are to be realised, then there are certain targets of the technology which need to be reached. The first

is sufficient conductivity over the operating temperature range of the battery.

The reason for the moves from first generation polymer electrolytes to the second and third generations is increasing electrolyte conductivity and, therefore, higher power batteries (18, 19). (Of course, lower conductivity can be compensated by greater surface area, but there are both monetary and other costs associated with greater electrode surface area. The challenge of polymer electrolyte technology, in some ways, reduces to putting a large area 2-D structure into the volume of a 3-D package). A conductivity of 10^{-3} S/cm and an electrolyte thickness of 50 micrometers results in only a 50 millivolt IR loss at 10 mA/cm2. This is acceptable for most ambient applications. Now, there is little demand for higher conductivity except where low temperature operation is required.

The second requirement is solid-like character. The entire rationale for polymer electrolytes is an escape from the limitations of liquid electrolytes. The limitations of liquids include: not self supporting, high vapour pressures, and migration of species. Clearly, as more highly solvent-doped compositions for the polymer electrolyte are used, the advantages of solid construction are lost. On the other hand, a particular advantage of liquids is penetration into porous electrode structures to form a 3-dimensional interface. By their nature, polymer electrolytes do not soak into a porous electrode. To compensate, the polymer electrolyte is incorporated into the electrode at time of fabrication and serves as both the pore filler and the binder of the electrode. The later role demands solid-like character to maintain dimensional integrity of the electrode. (The practical thickness of the 3-D interface is determined by the relative ratio of electronic conductivity to ionic conductivity within the electrode, the requirements on power and materials utilisation. A thicker electrode increases energy density so there is an incentive to increase conductivity at the sacrifice of rigidity). The trade off between ionic conductivity and solid-like character is difficult but, clearly, a material that flows even over long times is not acceptable.

Another requirement is chemical and electrochemical stability. Today's 4 volt cells demand a stable electrochemical window of, at least, this range. Only a few solvent compositions having this large voltage window are known. And these, in solvent-doped polymers, tend to destroy the solid character of the polymer. The challenge is to find an electrochemically stable solvent which forms a homogeneous "dry" solvent-doped polymer.

In addition, the flammability of solvent-doped polymers should be considered. An important reason why most commercial rechargeable cells have an aqueous electrolyte is the chemical stability of the electrolyte. To be highly successful, a polymer electrolyte will be non combustible.

Lessor concerns for the polymer electrolyte are: electrochemical stability at both electrodes, a suitable temperature range, available in high purity so that a low self discharge is obtained, and moderate cost.

CONCLUSIONS

The still unmet challenges of a polymer electrolyte for lithium batteries are:

Conductivity of a least 10^{-3} S/cm in the operating temperature range for the battery,

Processible into uniform, defect-free, films of 50 micrometers thickness or less,

True solid-like character such as found in some "dry" solvent-doped polymer electrolytes and the ability to bind active materials of the elec-

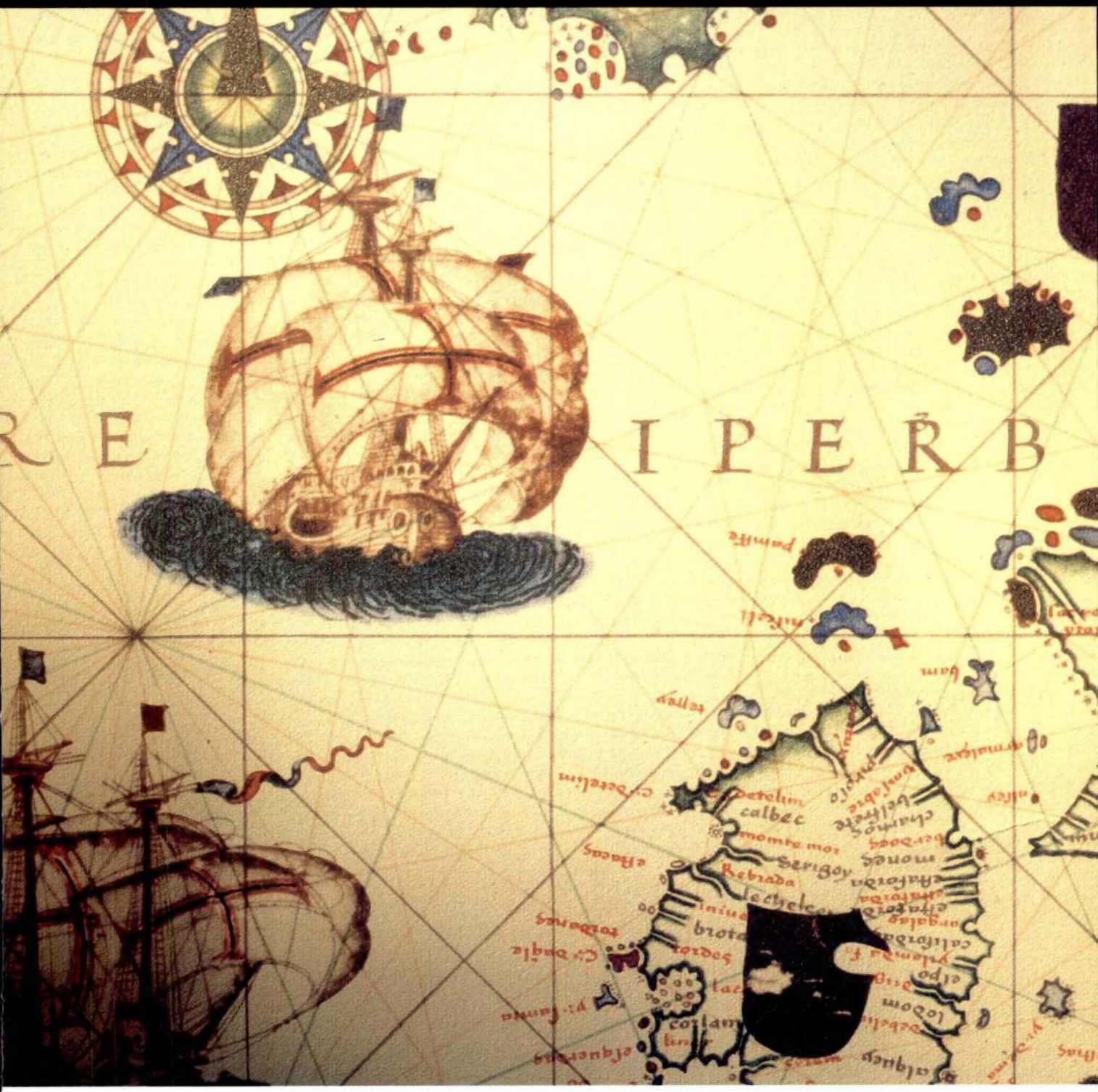
trodes without dimensional change over long time periods,

An electrochemically stable window of more than 4 volts and chemical stability to combustion.

REFERENCES

1. D.E. Fenton, J.M. Parker and P.V. Wright, Polymer, 589 (1973).
2. M. Armand in Polymer Electrolytes, eds. J.R. MacCallum and K.A. Vincent, Elsevier Applied Science, New York (1977), p. 1.
3. J.R. MacCallum and C.A. Vincent (eds.), Polymer Electrolytes Reviews, Elsevier Applied Science, New York (1987).
4. S. Megahed and B. Scrosati, J. Power Sources, **51**, 79 (1994).
5. D. Fauteux, A. Massucco, M. McLin, M. van Buren and J. Shi, Electrochim. Acta, **40**, 2185 (1995).
6. M. Armand, Solid State Ionics, **69**, 309 (1994).
7. X. Andrieu, J.F. Fauvarque, A. Goux, T. Hamaide, R. M' Hamdi and J. Vicedo, Electrochimica Acta, **40**, 2295 (1995).
8. D. Benrabah, S. Sylla, F. Alloin, J.Y. Sanchez and M. Armand, ibid, **40**, 2259 (1995).
9. M.T. Lee, D.R. Shackle and G. Schwab, U.S. Patent 4,830,939 May 16, 1989.
10. K.M. Abraham and M. Alamgir, J. Electrochem. Soc., **137**, 1657 (1990).
11. R. Huq, R. Koksbang, P.E. Tonder and G.C. Farrington, Electrochimica Acta, **37**, 1681 (1992).
12. E. Cazzanelli, G. Mariotto, G.B. Appetecchi, F. Croce and B. Scrosati, ibid, **40**, 2382 (1995).
13. M. Watanabe, S. Yamada and N. Ogata, ibid, **40**, 2285 (1995).
14. G. Nagasubramanian, D.H. Shen, S. Suramjudi, Q. Wang and G.K. Surya Prakash, ibid, **40**, 2280 (1995).
15. C.K. Chiang, B.J. Bauer, R.M. Briber and A.T. Davies, Polymer Communications, **28**, 105 (1987).
16. M.J. Hudson and C.A.C. Sequeira, J. Electrochem. Soc., **142**, 4013 (1995)
17. A. Gozdz, C. Schmutz and J.M. Tarascon, U.S. Patent 5,296,318 March 1994.
18. C.A.C. Sequeira and A. Hooper (eds), Solid State Batteries, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht (1985).
19. J.R. Akridge and M. Balkanski (eds.), Solid State Microbatteries, Plenum Press, New York (1990).

Ao contrário do que muita gente pensa, esta não foi a última vez que Portugal se internacionalizou.



Ao contrário do que muita gente pensa, esta não foi a última vez que Portugal se internacionalizou.

Se você acha que os últimos responsáveis pela internacionalização de Portugal foram Vasco da Gama, Pedro Álvares Cabral, ..., não deve estar a lembrar-se da Cimpor.

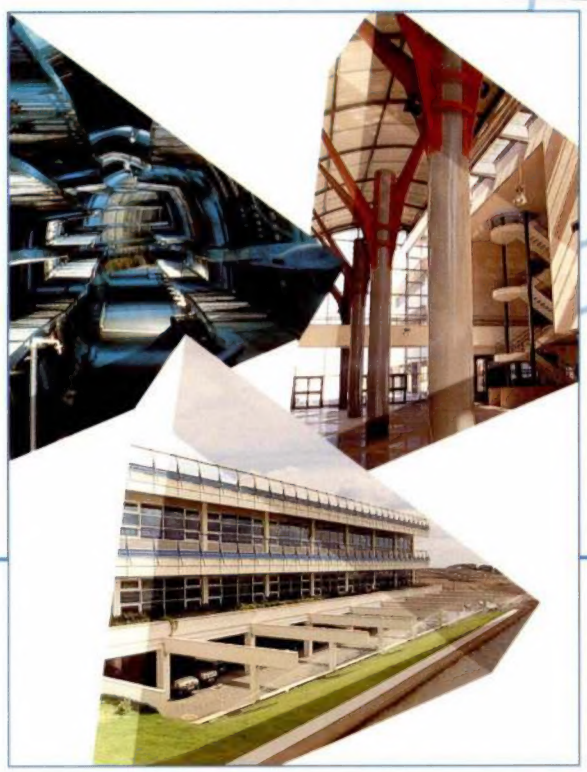
A Cimpor é a maior cimenteira de Portugal e há já 4 anos que aposta numa estratégia de internacionalização.

Hoje, a Cimpor tem unidades de produção em Espanha, Moçambique, Marrocos e Brasil. Estamos atentos a novas oportunidades onde quer que elas se apresentem interessantes. Porque a Cimpor sabe que, para continuar a crescer, é necessário DESCOBRIR novos mercados.

CIMPOR

A nossa solidez faz parte da sua vida.

CIMPOR - Cimentos de Portugal, S.G.P.S., S.A. • Sede: Rua Alexandre Herculano, 35 - Apartado 2211 - 1106 Lisboa Codex



Utentes com Instalação Própria:

Projecto Âncora

BCP Banco Comercial Português (já instalado)
CGD Caixa Geral de Depósitos (em estudo)
EDP Electricidade de Portugal, S.A. (em estudo)
INESC Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (em obra)
ISQ Instituto de Soldadura e Qualidade (já instalado)
IST Instituto Superior Técnico (em projecto)
PT Portugal Telecom, S.A. (em obra)
SIBS Sociedade Interbancária de Serviços, S.A. (em estudo)
UTL Universidade Técnica de Lisboa (em estudo)

Utentes do Centro de Inovação Empresarial:

ABSORSOR Engenharia Acústica, Vibração e Ambiente, Lda.
ADCT Associação para a Divulgação da Ciência e Tecnologia
AGROLEICO Laboratório de Análises Químicas e Bacteriológicas, Lda.
AMBISEGUR Projectos, Consultoria e Auditoria em Segurança e Ambiente, S.A.
ANIXTER PORTUGAL Comercialização e Distribuição de Sistemas de Cablagem e Equipamentos Activos para Redes Locais de Informática, Lda.
AXILOGA Informática e Gestão, Lda.
BASE VIRTUAL Soluções Informáticas, Lda.
BEREMIZ Microcomputadores e Serviços, Lda.
BIOTECNOL Serviços e Desenvolvimento, Lda.
BROWSER Serviços de Internet, S.A.
CARRÉ E RIBEIRO Informática, Lda.
CELES Sistemas de Gestão, Lda.
CHIPIDEA Microelectrónica, Lda.
CITINET Consultores em Tecnologias da Informação, Lda.
CMO Gabinete de Estudos da Câmara Municipal de Oeiras
COMPUQUALI Serviços e Consultoria Informática, Lda.
CONSULPAV Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.
CONVEX Supercomputer Portugal, Lda.
CPEC Companhia Portuguesa de Electricidade e Calor, Lda.
DÉCADA MEDIDA Instrumentação, Controle e Telecomunicações, S.A.
DIMENSÃO TÉCNICA Manutenção Informática, Lda.
DOSAG Equipamentos de Dosagem, Lda.
ELECTROCLORO Soc. de Estudos, Equipamentos e Instalações, S.A.
ELECTROCLORO AMBIENTE, Lda.
ENA PORTUGAL Sistemas de Telecomunicações, S.A.
ENERSIS Energia e Sistemas, S.A.
ENGISOFT Engenharia e Software, Lda.
ENZIFARMA Diagnóstica e Farmacêutica, Lda.
EQUISISTEMAS Racionalização e Sistemas, Lda.
ESPECTRAL Telecomunicações, S.A.
ESTEC Estudos e Tecnologias da Informação, S.A.
EURO-D Distribuição Informática, S.A.
EUROCONTROL Engenharia de Sistemas, Controlo e Equipamentos, Lda.
EUROLAN Soluções Informáticas, Lda.
EUROTELECOM Sistemas de Telecomunicações, Lda.
FADO Informática e Sistemas, Lda.
FATRÓNICA Fabrico de Artigos Electrónicos, S.A.
HIDROMOD Modelação em Engenharia, Lda.
IGRED Internacionaliz., Gestão, Recuperação, Estratégia e Desenvolvimento da Empresa, S.A.
INTERGRAPH (PORTUGAL) Sistemas de Computação Gráfica, S.A.
IRRADIARE Investigação e Desenvolvimento em Engenharia e Ambiente, Lda.
ITM Inovação e Tecnologia Multimédia, S.A.
LABORTERAPIA Produtos Farmacêuticos, S.A.
LOYALTECH PORTUGAL, S.A.
LUSODIGI Comunicações Digitais, Lda.
MELLO CRÉDITO Sociedade Financeira de Aquisições a Crédito, S.A.
MELOROSA Informática, Artes Gráficas e Publicidade, Lda.
MICRO DESIGN AS Sucursal em Portugal
MICROGRAF Empresa de Distribuição de Microinformática e Grafismo, Lda.
MINISOFT Sistemas de Informação, Lda.
MORAUDIOTEL Serviço de Telecomunicações, Lda.
M.R.A. Instrumentação para Medida, Registo e Análise, S.A.
MS - DINASTRATE Dinamização Estratégica de Empresas, Lda.
MULTINOVE Aparelhagem Eléctrica, S.A.
NCA Núcleo de Consultores Associados, Lda.
NEOSIS Sistemas e Tecnologias da Informação, S.A.
NORELCO Equipamentos Eléctricos, Lda.
NOVAGEO Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Lda.
NOVELL PORTUGAL Informática, Lda.
ORIGIN CP PORTUGUESA
PAULO M. S. D. PEDRO Automação Doméstica e Industrial
PESSOALGEST Cons. em Gestão de Recursos Humanos e Sistemas de Informação, Lda.
PHOENIX Marketing Portugal, Lda.
PORTUGAL TELECOM Laboratórios
PRISTAL Sociedade Gestora de Participações Sociais, S.A.
PROMOVISÃO Produções Audio-videográficas, Lda.
PYXIS Consultadoria e Formação Técnica, Lda.
QUALIDADE INFORMÁTICA Sistemas de Informação, Lda.
RETORNO Sistemas de Gestão, Lda.
ROCKWELL AUTOMAÇÃO, Lda.
RTSN Redes Telemáticas e Sistemas Navegacionais, Lda.
SCHLUMBERGER Technologies
SENSORTEC Engenharia de Sistemas Industriais, Lda.
SEST Serviços de Engenharia e Sistemas Tecnológicos, Lda.
SILICON GRAPHICS
SPIFF Design Interactivo, Lda.
SQÉDIO Design Industrial, Lda.
TECMIC Tecnologias de Microelectrónica, S.A.
TECNOPROJECTO Consultadoria, Projectos e Realizações Industriais, Lda.
TERRACARTA Consultoria Geomática, Lda.
TINTA INVISÍVEL Edições Digitais, Lda.
TRANSFOPOR Transformadores, Lda.
UNILASER Sociedade de Prestação de Serviços, Produção e Comercialização de Lasers, Lda.
VIRAGEM Gestão e Serviços, Lda.

(Abril de 1997)

... e há um tempo de concretização.

TAGUSPARQUE, S.A.
Taguspark - Parque de Ciência e Tecnologia
Núcleo Central, 100 • 2780 OEIRAS

Tel.: 422 69 31 • Fax: 422 69 36

TAGUSPARK
PARQUE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
O Espaço das Sinergias